

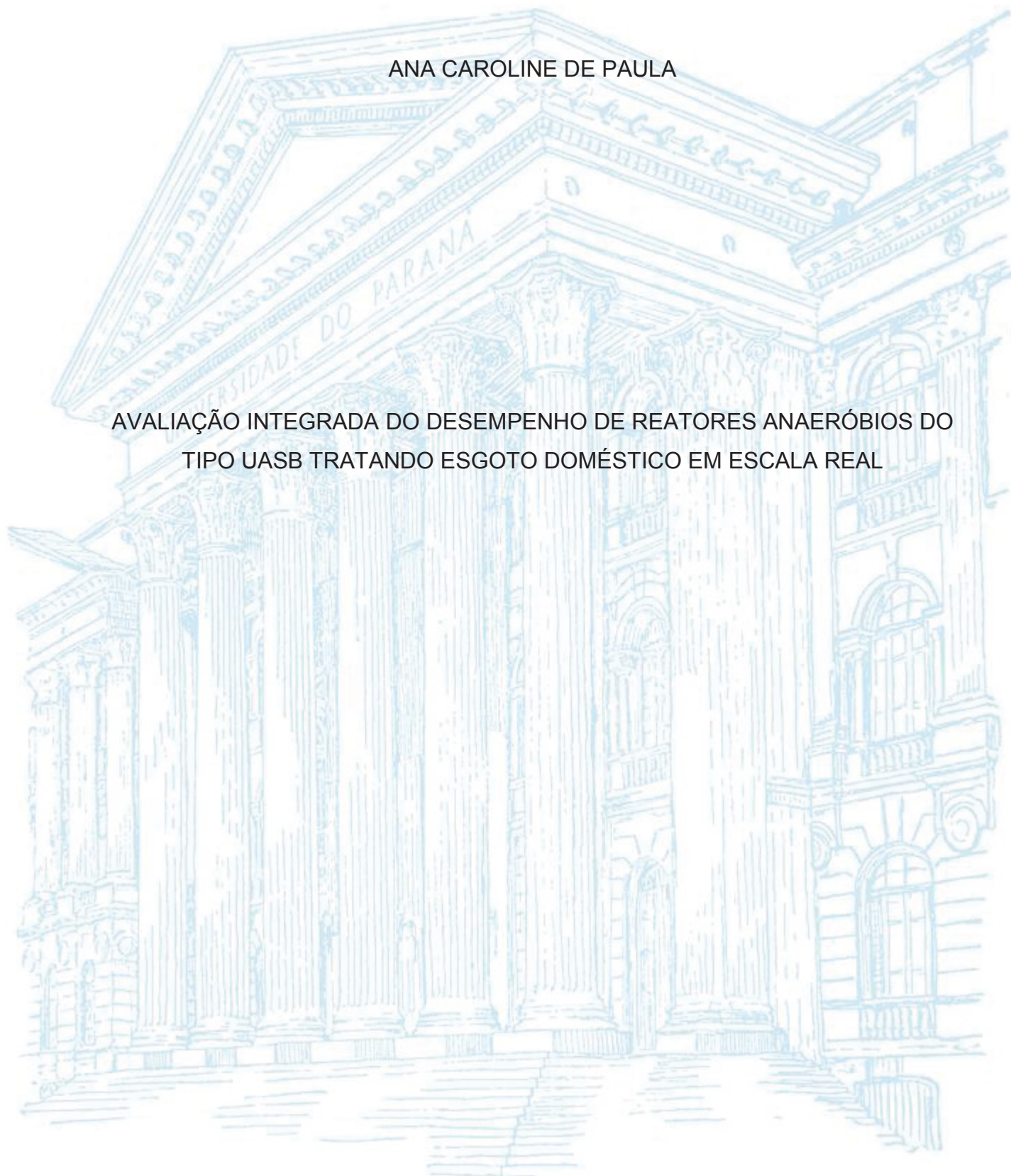
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA CAROLINE DE PAULA

AVALIAÇÃO INTEGRADA DO DESEMPENHO DE REATORES ANAERÓBIOS DO  
TIPO UASB TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO EM ESCALA REAL

CURITIBA

2019



ANA CAROLINE DE PAULA

AVALIAÇÃO INTEGRADA DO DESEMPENHO DE REATORES ANAERÓBIOS DO  
TIPO UASB TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO EM ESCALA REAL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse  
Coorientador: Prof. Dr. Gustavo R. C. Possetti

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR  
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

P324a

Paula, Ana Caroline de

Avaliação integrada do desempenho de reatores anaeróbios do tipo UASB tratando esgoto doméstico em escala real [recurso eletrônico] / Ana Caroline de Paula. – Curitiba, 2019.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2019.

Orientador: Miguel Mansur Aisse – Coorientador: Gustavo Rafael Collere Possetti.

1. Esgotos. 2. Águas residuais – Aspectos ambientais. 3. Biogás. 4. Reatores anaeróbios. I. Universidade Federal do Paraná. II. Aisse, Miguel Mansur. III. Possetti, Gustavo Rafael Collere. IV. Título.

CDD: 628.3

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894

**TERMO DE APROVAÇÃO**

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ANA CAROLINE DE PAULA**, intitulada: **AValiação INTEGRADA DO DESEMPENHO DE REATORES ANAERÓBIOS DO TIPO UASB TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO EM ESCALA REAL**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de Mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 27 de Fevereiro de 2019.

  
MIGUEL MANSUR AISSE

Presidente da Banca Examinadora

  
CLAUDIO LEITE DE SOUZA

Avaliador Externo (UFMG)

(via skype)

  
HELOISE GARCIA KNAPIK

Avaliador Interno (UFPR)

  
GUSTAVO RAFAEL COLLERE POSSETTI

Coorientador - Avaliador Externo (ISAE)

  
SELMA APARECIDA CUBAS

Avaliador Interno (UFPR)



*Dedico aos meus pais, Francisca e Adenilson;*

*Ao meu irmão, Gustavo;*

*E ao meu amor, Cristhian.*

## AGRADECIMENTOS

*A Deus, meu criador, pois sem ele nada eu seria e com ele tudo é sempre possível. A benção de viver dia após dia e lutar pelos meus sonhos é uma dádiva e uma graça recebida.*

*Aos meus pais, Francisca Saraiva e Adenilson Ferreira de Paula, pelo amor incondicional, por me ensinarem a caminhar meus passos e sempre ir em busca de meus sonhos. Por sempre estarem ao meu lado, segurando minha mão e me apoiando nos momentos de alegria e de tristeza. Pelo apoio, educação, caráter e valores que me tornam a pessoa que hoje sou. A vocês, meu maior agradecimento e meu eterno amor.*

*Ao meu querido irmão, Gustavo Saraiva de Paula, por ser meu amigo e companheiro, por me apoiar em minhas decisões e sempre me forçar a enxergar o mundo de uma maneira diferente, mais otimista e melhor. Nossa união é forte e estaremos sempre lado a lado na caminhada da vida.*

*Ao meu amor, Cristhian Thomaz Patulski Junior, melhor amigo e companheiro, por estar sempre ao meu lado me dando forças e por entender todos os meus momentos de ausência. Você esteve comigo nos momentos mais angustiantes e em todas as vitórias almejadas, sempre paciente, me alegrando e me motivando, abdicando-se muitas vezes de diversas coisas para estar ao meu lado. A gratidão por tudo que tens feito por mim, será eterna.*

*Ao meu orientador, Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse, por todos os ensinamentos extraordinários e pelo apoio incondicional prestado durante o desenvolvimento do projeto. Obrigada pela dedicação de seu tempo, paciência, confiança, atenção, incentivo e carinho nesses últimos anos, o Sr. é um exemplo de dedicação e profissionalismo.*

*Ao meu coorientador Gustavo Rafael Collere Possetti, por todos os princípios e conhecimentos compartilhados, por me mostrar que sou capaz de fazer coisas além do esperado, e que fazer aquilo que se ama, não tem valor mensurável. Seus conselhos e ensinamentos foram essenciais para meu desenvolvimento pessoal e*

*profissional. Obrigado por todas as oportunidades, atenção, paciência, carinho, estímulo e apoio.*

*A Dani, Dudu, Clara, Pedro, Maria Rita, Paula, Alex, Catarina, Diogo (in memoriam), Vó Lena, Vô João, Vó Sula, Vô Quelé (in memoriam) e a todos os meus familiares, pelo amor e união, a gratidão de tê-los ao meu lado é imensurável. Em especial, agradeço aos meus tios Walter Saraiva e Roseli Saraiva, sem o apoio e confiança de vocês, sem dúvidas eu não teria conseguido. Vocês são como pais para mim e eu os amo.*

*Aos meus queridos sogros, Cristhian e Andréia, por me incentivarem e apoiarem. Eu me sinto acarinhada sempre que estamos juntos e prezo grandiosamente a companhia de vocês. Agradeço por fazer parte dessa amada família e partilhar todos os momentos que temos vividos juntos. Obrigada por tudo.*

*A todos os meus amigos, especialmente a Ana Carolina Sestito Guerra, por não me deixar desanimar e por estar sempre presente, mesmo estando distante. Amigos que almejam nossa felicidade, são raros, e eu tive a sorte de encontrar você. Com todo carinho e de coração eu agradeço por sua amizade, e desejo preservá-la para sempre.*

*A Bárbara Zanicotti Leite Ross e Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa, por terem me dado a oportunidade de aprender mais sobre a área ambiental e o saneamento, como estagiária da Sanepar, e por despertarem em mim o interesse pela pesquisa, sempre em busca de um mundo melhor para sociedade. Vocês são incríveis, obrigada por tudo.*

*Aos meus companheiros de laboratório, Orlando Duarte, Fernanda Janaina, Barbara Zanicotti, Karina Kriguel, Ana Paola, André Luiz, Luana, Anne Queiroz, Alexandre Precoma, Luiz Gustavo, Isabella Storrer e Rafaella Storrer. E também a minha companheira de estudos, Daniela Appel. Sem o auxílio de todos vocês, esse trabalho não seria realizado. Muito obrigada.*

*Ao Professor Cláudio Leite de Souza, pela paciência e pelo apoio com todas as questões envolvendo o balanço de massa. A Tamile Marinho e toda equipe do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), pelo auxílio com as análises de metano dissolvido.*

*A minha amada prima Juliana Gonçalves e ao meu colega de trabalho Pedro Kiatkoski, por todo auxílio na concepção dos desenhos e mapas.*

*Aos meus colegas de trabalho da Andreoli, Jéssica Gontijo, Gustavo Coura, Kauê Monteiro e Tamara Vigolo, por todo apoio e amizade ao longo desse período. Em especial, agradeço a minha companheira e amiga Izabella de Andrade Brito, por todos os conselhos e pelo incentivo demonstrado. Você é uma pessoa iluminada, sábia e de um coração enormemente generoso, um exemplo de pessoa e profissional. Obrigada por tudo, jamais irei me esquecer das palavras de força e conforto que você me ofereceu.*

*Aos meus amigos do INCT ETEs Sustentáveis, Ana Beatriz Bastos Alves, Giovana Kaminski, Júlio Cesar Rietow e Maira Ruggi, por todas as conversas, conselhos, orientações e apoio. Vocês são pessoas maravilhosas, obrigada.*

*A todos os funcionários da ETE Padilha Sul, pela cooperação durante o longo período de monitoramento e análises.*

*A todas as instituições que proporcionaram a realização desta pesquisa, a Universidade Federal do Paraná (UFPR), notadamente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis), pelo apoio demonstrado; a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), pelo financiamento da pesquisa; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudo.*

*Enfim, agradeço imensamente a todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte dessa caminhada, por meio do compartilhamento de informações técnicas, ou mesmo de palavras amigas, conselhos e apoio nos momentos de apreensão, me dando tranquilidade para seguir em frente e não desanimar com as atribulações.*



*"Não é o que você faz, mas quanto amor você dedica no que faz que realmente importa."*

*Madre Tereza de Calcutá*

## RESUMO

Por conta das favoráveis condições climáticas que o Brasil e países da América Latina e Caribe apresentam, e da baixa cobertura sanitária, os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (reatores UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) são amplamente utilizados para tratamento do esgoto doméstico. O uso de reatores anaeróbios, acarreta na produção de subprodutos com potencial para aproveitamento, como o biogás, que pode ser utilizado para fins energéticos. Para recuperação do biogás, faz-se necessário o adequado gerenciamento das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), bem como o conhecimento do desempenho e eficiência do reator. Nesse contexto, o objetivo geral desse estudo foi avaliar de forma integrada o desempenho de reatores anaeróbios do tipo UASB, tratando esgoto doméstico, em escala real. Os objetivos específicos desse trabalho foram: a) avaliar as relações entre o biogás produzido e os parâmetros físico-químicos convencionais da fase líquida; b) avaliar as relações entre o biogás produzido e alguns parâmetros físico-químicos do lodo e da espuma; c) avaliar o equacionamento do balanço de massa de DQO, em reatores anaeróbios do tipo UASB, em escala real, levando em consideração as parcelas possivelmente mensuráveis de conversão da matéria orgânica no sistema. Para atingir os objetivos propostos foram realizadas medições e análises físico-químicas no esgoto afluente e efluente da ETE, bem como nos principais subprodutos: biogás, lodo e espuma. O monitoramento foi realizado ao longo de cinco meses (julho de 2018 a novembro de 2018), durante três dias consecutivos de cada mês. Os resultados mostraram que para grande maioria das variáveis medidas, o comportamento encontrado foi análogo ao da produção de biogás e de metano, sendo ele temporal variável, periódico e não-estacionário. Das correlações entre as variáveis do esgoto afluente e o biogás produzido, as mais fortes foram entre Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST), acidez, Sólidos Sedimentáveis (SSed) e temperatura. Já para o esgoto efluente, foram entre SSV, alcalinidade, nitrogênio total, fósforo total e temperatura. Além disso, nenhuma variável da fase líquida apresentou peso destoante, isto é, todas as que se correlacionaram, possuíram influência análoga, o que foi confirmado pela análise de componentes principais (PCA). Quanto as correlações entre o biogás produzido e a fase sólida, para os parâmetros de DQO e sólidos do lodo e da espuma, as correlações foram de fracas a moderadas. Por fim, o resultado do balanço de massa global em termos de DQO indicou percentual de 32,66% para parcela de DQO convertida e biomassa e perdida com o efluente, 24,24% para DQO não convertida e perdida solúvel com o efluente, 10,29% para DQO convertida em metano e presente no biogás, 4,67% para DQO utilizada para redução do sulfato e 1,65% para DQO convertida em biomassa e retida no sistema.

Palavras-chave: Estação de Tratamento de Esgoto 1. Biogás 2. Mensuração em tempo real 3. Balanço de massa 4.

## ABSTRACT

Due to the favorable climatic conditions that Brazil and Latin American and Caribbean countries present and the low sanitary coverage, the upflow anaerobic reactors and the sludge blanket (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket) are widely used for the treatment of domestic sewage. The use of anaerobic reactors leads to the production of byproducts with potential for reuse, such as biogas that can be used for energy purposes. For recovery of the biogas, it is necessary the adequate management of the Wastewater Treatment Plants (WWTP), as well as the knowledge of the performance and efficiency of the reactor. In this context, the overall objective of this study was to evaluate in an integrated manner the performance of UASB type anaerobic reactors, treating domestic sewage, in full scale. The specific objectives of this work were: a) to evaluate the relationships between the biogas produced and the conventional physico-chemical parameters of liquid phase; b) to evaluate the relationships between the biogas produced and some physico-chemical parameters of sludge and scum; c) to evaluate the equation of the mass balance of COD in anaerobic reactors of the UASB type, in real scale, taking into account possible measurable plots of conversion of the organic matter in the system. In order to reach the proposed objectives, measurements and physical chemical analyzes were carried out on the affluent and effluent sewage, as well as on the main byproducts: biogas, sludge and scum. The monitoring was carried out for five months (July 2018 to November 2018), during three consecutive days of each month. The results showed that for most of the variables measured, the behavior found was similar to that of biogas and methane production, being it variable, periodic and non-stationary. From the correlations between the affluent sewage and biogas produced, the strongest were Volatile Suspended Solids (SSV), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (SST), acidity, Sedimentable Solids (SSed) and temperature. For the sewage effluent, were SSV, alkalinity, total nitrogen, total phosphorus and temperature. In addition, no variables of the liquid phase presented a disproportionate value of the others, that is, all those that correlated, had similar influence, which was confirmed by principal component analysis (PCA). As for the correlations between the biogas produced and the solid phase, for COD and solids parameters, for sludge and scum, the correlations were weak to moderate. Lastly, the overall mass balance result in terms of COD indicated a percentage of 32.66% for converted COD and biomass and lost with effluent, 24.24% for unconverted COD and soluble waste with effluent, 10.29% for COD converted to methane and present in the biogas, 4.67% for COD used for sulphate reduction and 1.65% for COD converted to biomass and retained in the system.

Keywords: Wastewater Treatment Plants 1. Biogas 2. Real time measurement 3. Mass balance 4.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DAS ROTAS DE CONVERSÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA .....	24
FIGURA 2 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DOS PROCESSOS QUE OCORREM NA DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	26
FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM REATOR ANAERÓBIO DO TIPO UASB .....	30
FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO DAS DIFERENÇAS ENTRE OS REATORES TIPO UASB TRADICIONAL E UASB MODIFICADO.....	31
FIGURA 5 – CONCENTRAÇÃO DE METANO DISSOLVIDO EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DO EFLUENTE NO COMPARTIMENTO DE DECANTAÇÃO DE UM REATOR ANAERÓBIO DO TIPO UASB EM ESCALA REAL. ....	40
FIGURA 6 – VAZÃO DE BIOGÁS EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 30 DIAS.....	42
FIGURA 7 – CURVAS HORÁRIAS DE DBO (A), DQO (B), ALCALINIDADE TOTAL (C), PH (D) E VAZÃO AFLUENTE (E) ANALISADOS PARA UM INTERVALO DE 3 DIAS, NA AUSÊNCIA DE CHUVA. ....	43
FIGURA 8 – INFLUÊNCIA DO EFEITO DA CHUVA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	44
FIGURA 9 – VARIAÇÃO DA VAZÃO DE BIOGÁS EM RELAÇÃO AO DIA ANTERIOR EM FUNÇÃO DO VOLUME DE CHUVA DO DIA ANALISADO .....	44
FIGURA 10 – VAZÃO MÉDIA DE BIOGÁS EM FUNÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DIÁRIA .....	45
FIGURA 11 – PRODUÇÃO HORÁRIA DE BIOGÁS EM UMA ETE .....	46
FIGURA 12 – ANÁLISES DOS PRINCIPAIS FATORES INTERFERENTES NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM UMA DETERMINADA ETE.....	47
FIGURA 13 – FOTO DO ACÚMULO DE ESCUMA NA SUPERFÍCIE DO DECANTADOR DE REATOR TIPO UASB .....	52
FIGURA 14 – REPRESENTAÇÃO DAS ROTAS DE CONVERSÃO DE DQO E FLUXOS DE METANO EM REATORES DO TIPO UASB .....	57
FIGURA 15 - FLUXOGRAMA DAS PRINCIPAIS ETAPAS DA METODOLOGIA .....	59
FIGURA 16 – LOCALIZAÇÃO DA ETE NO CONTEXTO REGIONAL, BEM COMO SUAS PRINCIPAIS ETAPAS DE TRATAMENTO.....	61
FIGURA 17 – FOTOS DOS LABORATÓRIOS DE EXECUÇÃO DAS ANÁLISES....	62



FIGURA 18 – FOTO DOS COLETORES AUTOMÁTICOS UTILIZADOS PARA COLETA DE ESGOTO.....	63
FIGURA 19 – DESENHO ESQUEMÁTICO COM A LOCALIZAÇÃO DOS AMOSTRADORES AUTOMÁTICOS INSTALADOS NA ESTAÇÃO .....	64
FIGURA 20 – DESENHO ESQUEMÁTICO DA CALHA PARSHALL DA ETE EM ESTUDO COM SUAS RESPECTIVAS DIMENSÕES.....	70
FIGURA 21 – FOTO DO APARATO EXPERIMENTAL UTILIZADO PARA ANÁLISE DE DQO .....	72
FIGURA 22 – FOTO DOS KITS UTILIZADOS PARA ANÁLISE DE NITROGÊNIO TOTAL.....	73
FIGURA 23 – FOTO DOS KITS UTILIZADOS PARA ANÁLISE DE NITROGÊNIO AMONÍACAL .....	74
FIGURA 24 – FOTO DOS UTENSÍLIOS UTILIZADOS PARA ANÁLISE DE FÓSFORO TOTAL.....	75
FIGURA 25 – FOTO DOS KITS UTILIZADOS PARA ANÁLISE DE SULFATO .....	76
FIGURA 26 – FOTO DOS APARATOS UTILIZADOS PARA ANÁLISE DE METANO DISSOLVIDO .....	77
FIGURA 27 – DESENHO ESQUEMÁTICO COM A LOCALIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA MENSURAÇÃO DOS PARÂMETROS DA FASE GASOSA.....	79
FIGURA 28 – FOTO DO MEDIDOR DE VAZÃO POR DISPERSÃO TÉRMICA.....	81
FIGURA 29 – FOTO DO MEDIDOR DE QUALIDADE DO BIOGÁS .....	82
FIGURA 30 – DESENHO ESQUEMÁTICO COM A LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DA FASE SÓLIDA .....	84
FIGURA 31 – FOTO DO PROCEDIMENTO DE COLETA DE LODO E ESCUMA ...	86
FIGURA 32 – REPRESENTAÇÃO DAS PARCELAS DE CONVERSÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA CALCULADAS NO BALANÇO DE MASSA .....	88
FIGURA 33 – GRÁFICOS BOXPLOT DAS CONCENTRAÇÕES PERCENTUAIS DE CH <sub>4</sub> (A), CO <sub>2</sub> (B), H <sub>2</sub> S (C) E O <sub>2</sub> (D) PRESENTES NO BIOGÁS. ....	95
FIGURA 34 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), ACIDEZ DO ESGOTO AFLUENTE (C) E ALCALINIDADE DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES .....	98

FIGURA 35 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B) ACIDEZ DO ESGOTO EFLUENTE (C) E ALCALINIDADE DO ESGOTO EFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	99
FIGURA 36 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), PH DO ESGOTO EFLUENTE (C) E PH DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	103
FIGURA 37 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), TEMPERATURA DO ESGOTO EFLUENTE (C) E TEMPERATURA DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES	104
FIGURA 38 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DO ESGOTO EFLUENTE (C) E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	107
FIGURA 39 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), SSV DO ESGOTO AFLUENTE (C), SSF DO ESGOTO AFLUENTE (D) E SST DO ESGOTO AFLUENTE (E) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	108
FIGURA 40 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), SSV DO ESGOTO EFLUENTE (C), SSF DO ESGOTO EFLUENTE (D) E SST DO ESGOTO EFLUENTE (E) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	109
FIGURA 41 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), SULFATO DO ESGOTO EFLUENTE (C) E SULFATO DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	112
FIGURA 42 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), SULFETO DO ESGOTO EFLUENTE (C) E SULFETO DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	113
FIGURA 43 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), NITROGÊNIO TOTAL DO ESGOTO EFLUENTE (C) E NITROGÊNIO TOTAL DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	116
FIGURA 44 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), NITROGÊNIO AMONÍACAL DO ESGOTO EFLUENTE (C) E NITROGÊNIO	

AMONIAL DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	117
FIGURA 45 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), FÓSFORO TOTAL DO ESGOTO EFLUENTE (C) E FÓSFORO TOTAL DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES	120
FIGURA 46 – INFLUÊNCIA DE EVENTOS DE CHUVA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS (A), NA DILUIÇÃO DO ESGOTO (B) E NO APORTE DE MATÉRIA ORGÂNICA (C), EM REATORES DO TIPO UASB.....	123
FIGURA 47 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B) E VAZÃO DE ESGOTO (C) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	125
FIGURA 48 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), DQO DO ESGOTO EFLUENTE (C) E DQO DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	126
FIGURA 49 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), CARGA ORGÂNICA REMOVIDA (C) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	127
FIGURA 50 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), DBO DO ESGOTO EFLUENTE (C) E DBO DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	128
FIGURA 51 – GRÁFICO SCREEN PLOT PARA O AFLUENTE (A) E GRÁFICO SCREEN PLOT PARA O EFLUENTE (B).....	129
FIGURA 52 – GRÁFICO DE CARGAS FATORIAIS PARA O AFLUENTE .....	131
FIGURA 53 – GRÁFICO DE CARGAS FATORIAIS PARA O EFLUENTE .....	133
FIGURA 54 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B) E DQO DO LODO (C) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES ..	137
FIGURA 55 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), STV DO LODO (C), STF DO LODO (D) E ST DO LODO (E) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES .....	138
FIGURA 56 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B) E DQO DA ESCUMA (C) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES .....	141

FIGURA 57 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), STV DA ESCUMA (C), STF DA ESCUMA (D) E ST DA ESCUMA (E) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES.....	142
FIGURA 58 – CARGAS DE DQO OBTIDAS PARA CADA PARCELA DO BALANÇO DE MASSA.....	144
FIGURA 59 – REATORES UASB: PERCENTUAIS DO BALANÇO DE MASSA PARA CADA PARCELA DE CONVERSÃO.....	145
FIGURA 60 – RESULTADO DAS SIMULAÇÕES DE BALANÇO DE DQO EM REATORES DO TIPO UASB TRATANDO ESGOTO TIPICAMENTE DOMÉSTICO EM RELAÇÃO À DQO AFLUENTE PARA PIOR SITUAÇÃO .....	147



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VALORES TÍPICOS DE CONCENTRAÇÕES DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DO ESGOTO DOMÉSTICO BRASILEIRO.....	18
TABELA 2 – COMPARAÇÃO ENTRE VALORES TÍPICOS DE CONCENTRAÇÕES DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DO ESGOTO DOMÉSTICO DE ALGUMAS REGIÕES.....	19
TABELA 3 – PARÂMETROS RECOMENDADOS PARA CONTROLE DE REATORES ANAERÓBIOS E SUAS RESPECTIVAS FREQUÊNCIAS DE MONITORAMENTO.....	28
TABELA 4 – DESEMPENHO DE ETES QUE EMPREGAM REATORES ANAERÓBIOS DO TIPO UASB .....	34
TABELA 5 - COMPOSIÇÃO TÍPICA DO BIOGÁS GERADO EM REATORES ANAERÓBIOS, TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO.....	37
TABELA 6 – CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS .....	37
TABELA 7 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE ALGUNS DOS PRINCIPAIS COMPOSTOS DO BIOGÁS .....	38
TABELA 8 – VARIAÇÃO DO PODER CALORÍFICO EM RELAÇÃO A COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS .....	41
TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS E PRODUÇÕES DO LODO ANAERÓBIO ORIUNDO DE REATORES DO TIPO UASB. ....	48
TABELA 10 – ETAPAS DE GERENCIAMENTO DO LODO E PRINCIPAIS PROCESSOS UTILIZADOS.....	50
TABELA 11 – PRODUÇÃO DE ESCUMA SEGUNDO DIVERSOS AUTORES .....	53
TABELA 12 – VALORES DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ESCUMA DE REATORES DO TIPO UASB .....	54
TABELA 13 – QUANTIDADE DE ANÁLISES REALIZADAS PARA CADA PARÂMETRO DA FASE LÍQUIDA.....	66
TABELA 14 – CARACTERÍSTICAS DAS ANÁLISES REALIZADAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA FASE LÍQUIDA.....	67
TABELA 15 – CARACTERÍSTICAS DAS ANÁLISES REALIZADAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA FASE GASOSA.....	79
TABELA 16 – FREQUÊNCIA DE MENSURAÇÃO DOS PARÂMETROS DA FASE GASOSA.....	80

TABELA 17 – FAIXAS DE MEDIÇÃO E RESOLUÇÕES PARA CADA COMPONENTE MENSURADO PELO BIOCONTROL .....	82
TABELA 18 – MAGNITUDE DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN .....	83
TABELA 19 – PARÂMETROS DE ANÁLISE, METODOLOGIA ANALÍTICA E REFERÊNCIA UTILIZADA PARA MONITORAMENTO DA FASE SÓLIDA.....	85
TABELA 20 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE VAZÃO DE BIOGÁS E DE METANO .....	94
TABELA 21 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE ACIDEZ.....	96
TABELA 22 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE ALCALINIDADE .....	96
TABELA 23 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE PH.....	100
TABELA 24 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE TEMPERATURA....	101
TABELA 25 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS .....	105
TABELA 26 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE SST, SSF E SSV ...	106
TABELA 27 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA SST, SSF E SSV.....	106
TABELA 28 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE SULFATO .....	110
TABELA 29 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE SULFETO .....	111
TABELA 30 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA SULFATO E SULFETO .....	111
TABELA 31 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA PARA OS DADOS DE NITROGÊNIO TOTAL.....	114
TABELA 32 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE NITROGÊNIO AMONIAAL .....	114
TABELA 33 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA NITROGÊNIO TOTAL E NITROGÊNIO AMONIAAL .....	115
TABELA 34 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE FÓSFORO TOTAL.	118
TABELA 35 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA FÓSFORO TOTAL.....	119
TABELA 36 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE DQO.....	121
TABELA 37 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE DBO .....	124
TABELA 38 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA O AFLUENTE.....	130

TABELA 39 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA O EFLUENTE.....	132
TABELA 40 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE DQO DO LODO .....	134
TABELA 41 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA DQO DO LODO BIOLÓGICO .....	135
TABELA 42 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE ST, STF E STV DO LODO .....	135
TABELA 43 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA ST, STF E STV DO LODO BIOLÓGICO.....	136
TABELA 44 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE DQO DA ESCUMA	139
TABELA 45 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA DQO DA ESCUMA.....	139
TABELA 46 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE ST, STF E STV DA ESCUMA.....	140
TABELA 47 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA ST, STF E STV DA ESCUMA.....	140

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV	Ácidos Graxos Voláteis
BRS	Bactérias Redutoras de Sulfato
CH <sub>4</sub>	Metano
CHV	Carga Hidráulica Volumétrica
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CO	Carga Orgânica
COV	Carga Orgânica Volumétrica
CP	Componente Principal
CT	Coliformes totais
CTermo	Coliformes termotolerantes
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
H <sub>2</sub>	Hidrogênio
H <sub>2</sub> S	Sulfeto de hidrogênio
N-NH <sub>3</sub>	Nitrogênio amoniacal
N-NO <sub>2</sub>	Nitrito
N-NO <sub>3</sub>	Nitrato
N <sub>o</sub>	Nitrogênio orgânico
NPM	Número mais provável
N <sub>t</sub>	Nitrogênio total
O <sub>2</sub>	Oxigênio
OD	Oxigênio dissolvido
pH	Potencial hidrogeniônico
P <sub>i</sub>	Fósforo inorgânico
P <sub>o</sub>	Fósforo orgânico
P <sub>t</sub>	Fósforo total
ppm	Partes por milhão
P <sub>t</sub>	Fósforo total
Q	Vazão



RALF	Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado
Sanepar	Companhia de Saneamento do Paraná
SDF	Sólidos dissolvidos fixos
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SDV	Sólidos dissolvidos voláteis
SSed	Sólidos sedimentáveis
SSF	Sólidos suspensos fixos
SST	Sólidos suspensos totais
SSV	Sólidos suspensos voláteis
ST	Sólidos totais
SVT	Sólidos voláteis totais
SFT	Sólidos fixos totais
TDH	Tempo de detenção hidráulica
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO E RELEVÂNCIA .....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS .....	16
1.1.1 Objetivo geral .....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO .....	17
2.1.1 Caracterização da matéria orgânica.....	20
2.2 TRATAMENTO DO ESGOTO DOMÉSTICO .....	22
2.2.1 Tratamento biológico do esgoto doméstico .....	23
2.2.2 Tratamento anaeróbio do esgoto doméstico .....	25
2.2.3 Tratamento do esgoto doméstico em reatores do tipo UASB.....	28
2.3 SUBPRODUTOS DO TRATAMENTO ANAERÓBIO .....	36
2.3.1 Caracterização e produção de biogás .....	36
2.3.2 Caracterização e produção de lodo.....	48
2.3.3 Caracterização e produção de espuma .....	51
2.4 BALANÇO DE MASSA EM TERMOS DE DQO .....	55
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>59</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	60
3.1.1 Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).....	60
3.2 LABORATÓRIOS DE ANÁLISES.....	62
3.3 PROCEDIMENTO PARA DETERMINAR AS RELAÇÕES ENTRE O BIOGÁS E OS PARÂMETROS DA FASE LÍQUIDA .....	62
3.3.1 Amostragem para caracterização da fase líquida .....	63
3.3.2 Parâmetros avaliados para caracterização da fase líquida .....	65
3.3.2.1 Determinação da vazão de esgoto .....	69
3.3.2.2 Análise para determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	70
3.3.2.3 Análise para determinação de Nitrogênio Total .....	72
3.3.2.4 Análise para determinação de Nitrogênio Amoniacal .....	74
3.3.2.5 Análise para determinação de Fósforo Total .....	75
3.3.2.6 Análise para determinação de Sulfato .....	76
3.3.2.7 Análise para determinação de Metano Dissolvido .....	76
3.3.2.8 Demais análises .....	78

3.3.3 Amostragem para caracterização da fase gasosa .....	78
3.3.4 Parâmetros avaliados para caracterização da fase gasosa .....	79
3.3.4.1 Medição da vazão do biogás .....	80
3.3.4.2 Determinação da qualidade do biogás .....	81
3.3.5 Processamento e análise dos resultados .....	83
3.4 PROCEDIMENTO PARA DETERMINAR AS RELAÇÕES ENTRE O BIOGÁS E OS PARÂMETROS DA FASE SÓLIDA.....	84
3.4.1 Amostragem para caracterização da fase sólida.....	84
3.4.2 Parâmetros avaliados para caracterização da fase sólida .....	85
3.4.2.1 Análise para determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	86
3.4.2.2 Demais análises .....	87
3.4.3 Processamento e análise dos resultados .....	87
3.5 PROCEDIMENTO PARA DETERMINAR O BALANÇO DE MASSA EM TERMOS DE DQO .....	87
3.5.1 Parâmetros avaliados para o balanço de massa em termos de DQO.....	88
3.5.2 Equacionamento do balanço de massa em termos de DQO.....	89
3.5.3 Processamento e análise dos resultados .....	92
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>93</b>
4.1 AVALIAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE O BIOGÁS PRODUZIDO E OS DIVERSOS PARÂMETROS DA FASE LÍQUIDA .....	93
4.1.1 Caracterização e comportamento do biogás .....	93
4.1.2 Correlações entre produção de biogás e acidez e alcalinidade do esgoto.....	96
4.1.3 Correlações entre produção de biogás e pH e temperatura do esgoto .....	100
4.1.4 Correlações entre produção de biogás e sólidos do esgoto.....	105
4.1.5 Correlações entre produção de biogás e sulfato e sulfeto do esgoto .....	110
4.1.6 Correlações entre produção de biogás e nitrogênio total e nitrogênio amoniacal do esgoto.....	114
4.1.7 Correlações entre produção de biogás e fósforo total do esgoto .....	118
4.1.8 Correlações entre produção de biogás e vazão, DQO, DBO e carga orgânica do esgoto.....	121
4.2 AVALIAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE O BIOGÁS PRODUZIDO E OS DIVERSOS PARÂMETROS DA FASE SÓLIDA .....	134
4.2.1 Correlações entre produção de biogás e DQO e sólidos do lodo biológico....	134
4.2.2 Correlações entre produção de biogás e DQO e sólidos da espuma .....	139

4.3 AVALIAÇÃO DO BALANÇO DE MASSA EM TERMOS DE DQO .....	143
<b>5 CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>149</b>
<b>6 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>152</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>153</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>165</b>
<b>APÊNDICE 1 – RESULTADOS DA VARIAÇÃO DE DQO AO LONGO DO DIA ...</b>	<b>166</b>
<b>APÊNDICE 2 – RESULTADOS DA ANÁLISE METROLÓGICA DOS PARÂMETROS AVALIADOS .....</b>	<b>167</b>
<b>APÊNDICE 3 – RESULTADOS DO TESTE DE NORMALIDADE.....</b>	<b>175</b>
<b>APÊNDICE 4 – RESULTADOS DO PRIMEIRO MÊS DE MONITORAMENTO .....</b>	<b>176</b>
<b>APÊNDICE 5 – RESULTADOS DO SEGUNDO MÊS DE MONITORAMENTO.....</b>	<b>183</b>
<b>APÊNDICE 6 – RESULTADOS DO TERCEIRO MÊS DE MONITORAMENTO ....</b>	<b>190</b>
<b>APÊNDICE 7 – RESULTADOS DO QUARTO MÊS DE MONITORAMENTO .....</b>	<b>197</b>
<b>APÊNDICE 8 – RESULTADOS DO QUINTO MÊS DE MONITORAMENTO .....</b>	<b>204</b>

## 1 INTRODUÇÃO E RELEVÂNCIA

O crescimento demográfico e o consequente aumento desordenado das zonas urbanas e industriais tiveram sua ascensão nas últimas décadas, e trouxeram consigo algumas problemáticas, como o aumento na produção de resíduos, como por exemplo o esgoto doméstico, que muitas vezes não recebe tratamento ou descarte adequado, sendo lançado diretamente em águas superficiais, contribuindo com a proliferação de doenças e com a poluição dos corpos d'água.

Segundo dados da Agência Nacional de Águas (2017), a situação do atendimento da população brasileira com serviços de esgotamento doméstico ainda é crítica. Aproximadamente 43% da população tem seu esgoto coletado e tratado, 12% é atendida por solução individual (fossa séptica); 18% tem seu esgoto coletado, mas não tratado, e 27% ainda é desprovida de atendimento, ou seja, não tem coleta nem tratamento de esgoto.

Diante desse cenário, visando aumentar as condições de saúde e preservar o meio ambiente, é fundamental a disseminação do saneamento ambiental, bem como de infraestruturas e tecnologias capazes de sustentar a demanda de cada região, levando em conta suas limitações e peculiaridades.

Nesse sentido, como o setor de saneamento no Brasil carece de aprimoramentos, o conceito das estações sustentáveis de tratamento de esgoto vem sendo cada vez mais utilizado e debatido, o qual possui o intuito de buscar a universalização dos serviços de saneamento, por meio do tratamento integrado e sustentável do esgoto, com a recuperação e valorização de seus subprodutos.

No Brasil, por conta das favoráveis condições climáticas que o país apresenta e da baixa cobertura sanitária, os reatores anaeróbios, notadamente os reatores do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* - Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo), são muito utilizados para tratamento do esgoto doméstico. Quando comparado com lodos ativados, esses sistemas possuem inúmeras vantagens, tais como, baixa produção de lodo, menor área de implantação, mecanização reduzida, pequeno consumo energético, e a geração de subprodutos com potencial de aproveitamento, como o biogás, que pode ser utilizado para fins energéticos (NOYOLA et al., 2012; CHERNICHARO, 2011).

O tema biogás está vastamente fundamentado na literatura, porém há poucos estudos sobre sua caracterização qualitativa e quantitativa até então reportados, bem

como as correlações da produção desse gás com a fase líquida e sólida (lodo e espuma) do sistema, principalmente para reatores do tipo UASB, alimentados com esgoto doméstico, em escala real.

Posseti et al. (2013), por exemplo, realizaram medições em tempo real em reatores do tipo UASB alimentados com esgoto doméstico, e identificaram o comportamento do biogás e de alguns parâmetros do meio líquido, contudo, não os correlacionaram. Cabral (2016), por meio do Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS), desenvolveu um trabalho com mensurações sistemáticas de quantidade e qualidade de biogás em 10 ETEs espalhadas pelo Brasil, relacionando parâmetros do meio líquido e gasoso. Entretanto, as correlações realizadas foram com baixa quantidade de dados e apenas para vazão de biogás, vazão de esgoto, Demanda Química de Oxigênio (DQO) afluente, carga removida, precipitação e temperatura do esgoto.

Duarte (2018), no âmbito do PPGERHA (Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) e do PROBIOGÁS, também realizou mensurações de quantidade e qualidade do biogás gerado em uma ETE de médio porte, localizada no município de Curitiba/PR, visando verificar o comportamento de alguns parâmetros físico-químicos do esgoto. Assim, com o intuito de dar continuidade as avaliações iniciadas por Duarte (2018) e tendo em vista a pouca contribuição científica relativa ao tema, a presente pesquisa visa relacionar a produção de biogás e de metano, com parâmetros físico-químicos do meio líquido.

Além disso, com a grande quantidade de reatores do tipo UASB já instalados e com o crescimento populacional, o volume de esgoto a ser tratado tende a aumentar cada vez mais, e o conhecimento adequado sobre o desempenho do reator fornece embasamento para gestão das ETEs.

Um instrumento altamente efetivo para contribuir com a gestão é o balanço de massa em termos de DQO, uma vez que pode auxiliar no esclarecimento do fluxo de matéria orgânica que percorre o reator, determinando os compostos de entrada e saída, no desempenho do processo, dentre outros. Esse instrumento, mesmo com sua elevada importância, também ainda é pouco consolidado, sobretudo em reatores anaeróbios do tipo UASB, tratando esgoto doméstico, em escala real.

Pierotti (2007) apresenta em seu estudo um balanço de massa em termos de DQO. Contudo o balanço não considera a parcela de conversão da matéria orgânica devido à redução de sulfatos a sulfetos. Souza (2010) também desenvolveu um

balanço de massa em termos de DQO, executado para dois reatores anaeróbios do tipo UASB, sendo um em escala piloto e outro em escala de demonstração, contemplando todas as parcelas possivelmente mensuráveis de conversão da matéria orgânica. Lobato (2011), por sua vez, com base nos estudos de Souza (2010), propôs um modelo para realização do balanço de massa de DQO. No entanto, destaca-se que a maioria desses estudos não abrangem reatores anaeróbios em escala real.

Dessa forma, o presente trabalho também busca avaliar o balanço de massa em termos de DQO para um conjunto de seis reatores anaeróbios do tipo UASB, tratando esgoto doméstico, em escala real, visando fornecer informações sobre todas as rotas de conversão do material orgânico dentro do sistema.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar de forma integrada o desempenho de reatores anaeróbios do tipo UASB, tratando esgoto doméstico, em escala real, a partir de um amplo levantamento experimental.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar as relações entre o biogás produzido e os parâmetros físico-químicos convencionais da fase líquida;
- b) Avaliar as relações entre o biogás produzido e alguns parâmetros físico-químicos do lodo e da espuma;
- c) Avaliar o equacionamento do balanço de massa de DQO, em reatores anaeróbios do tipo UASB, tratando esgoto doméstico, em escala real, levando em consideração as parcelas e perdas das fases líquida, sólida e gasosa.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO

De acordo com Metcalf e Eddy (2016), esgoto é o termo empregue para caracterizar a água que após utilizada em uma diversidade de aplicações, possui suas propriedades naturais modificadas, tornando-se imprópria para maioria das aplicabilidades. Já, segundo Jordão e Pessoa (2011), o termo esgoto é definido tanto para canalização condutora das águas de distribuição, quanto para o fluido que a percorre.

O esgoto, quando não recebe o tratamento adequado ocasiona diversos inconvenientes, afetando diretamente a população. Pela presença de microrganismos patogênicos, pode provocar doenças infecciosas, já pela existência de nutrientes, origina o fenômeno de eutrofização, onde ocorre a elevada proliferação de organismos e plantas aquáticas, e quando esse efluente começa a se concentrar, a decomposição da matéria orgânica ali presente, acarreta em circunstâncias desagradáveis, como a produção de gases odorantes (FRANÇA JUNIOR, 2008; LEAL; LEAL, 2014; METCALF; EDDY, 2016; IBIAPINO et al., 2017).

Os esgotos são categorizados de acordo com suas fontes, sendo subdivididos em duas classes principais: esgoto industrial e esgoto doméstico. A primeira é inerente aos processos industriais, possuindo características próprias em consequência de cada procedimento, por conseguinte, cada indústria deve ser avaliada particularmente, uma vez que, seus rejeitos diferem-se até mesmo em processos industriais correlatos. A segunda é originada principalmente em casas, comércios ou quaisquer edificações que possuam mecanismos de uso da água para fins domésticos, constituída basicamente de água de banho, urina, restos de alimento, sabões, águas de lavagens, e outros (ABNT, 1986).

A caracterização do esgoto, varia quantitativamente e qualitativamente com o uso à qual a água foi submetida, e o uso varia com o clima, com a situação social, econômica e com os hábitos de cada população local (ALVES et al., 2007).

De acordo com Von Sperling (1996) e Andrade Neto e Campos (1999), o esgoto doméstico é predominantemente composto por água (cerca de 99,9%). Contudo, há um percentual caracterizado pela presença de contaminantes, ressaltando-se compostos orgânicos, sólidos (suspensos, voláteis, dissolvidos,

sedimentáveis, inertes, grosseiros), nutrientes (nitrogênio e fósforo), organismos patogênicos, óleos e graxas e outros. A TABELA 1 traz valores típicos das concentrações de diversos compostos encontrados no esgoto doméstico brasileiro.

TABELA 1 – VALORES TÍPICOS DE CONCENTRAÇÕES DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DO ESGOTO DOMÉSTICO BRASILEIRO

Parâmetros	Forte	Média	Fraca
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	800	400	200
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	400	200	100
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	1.160	730	370
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	360	230	120
SSV (mg.L <sup>-1</sup> )	280	175	90
SSF (mg.L <sup>-1</sup> )	80	55	30
SDT (mg.L <sup>-1</sup> )	800	500	250
SDV (mg.L <sup>-1</sup> )	300	200	105
SDF (mg.L <sup>-1</sup> )	500	300	145
SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	20	10	5
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	0	0	0
N <sub>t</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	85	40	20
N <sub>o</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	35	20	10
N-NH <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	50	20	10
N-NO <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,10	0,05	0
N-NO <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,40	0,20	0,10
P <sub>t</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	20	10	5
P <sub>o</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	7	4	2
P <sub>i</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	13	6	3
pH		6,5 - 7,5	
CT (NPM.100mL <sup>-1</sup> )		10 <sup>6</sup> - 10 <sup>9</sup>	
CTermo (NPM.100mL <sup>-1</sup> )		10 <sup>5</sup> – 10 <sup>8</sup>	

FONTE: JORDÃO; PESSOA (2011).

Na TABELA 2 tem-se uma comparação entre a caracterização do esgoto doméstico gerado na cidade de Curitiba/PR e na Região Metropolitana/PR, sendo que esses valores são de extrema importância para avaliar a composição do esgoto da

região, bem como definir o tratamento adequado para cada tipo de efluente (BAETTKER, 2017).

TABELA 2 – COMPARAÇÃO ENTRE VALORES TÍPICOS DE CONCENTRAÇÕES DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DO ESGOTO DOMÉSTICO DE ALGUMAS REGIÕES

Parâmetros	ETE Belém (Curitiba/PR)	ETE Cambuí (Campo Largo/PR)	Sanepar (Região Metropolitana/PR)
pH	5,7 – 6,8	6,3 – 7,3	5,2 – 7,2
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	298 – 494	386 – 802	344 – 820
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	54 – 227	176 – 211	189 – 356
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	330 – 539	372 – 832	-
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	124 – 207	160 – 430	136 – 314
SVT (mg.L <sup>-1</sup> )	86 – 149	193 – 444	-

FONTE: Adaptado de BAETTKER (2017).

Dos compostos presentes no esgoto, a matéria orgânica, constituída principalmente de proteínas (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%) e óleos e graxas (10%), é o principal parâmetro de caracterização do esgoto, pois define a qualidade que o mesmo contém, ou seja, sua carga poluidora (ANDRADE NETO; CAMPOS, 1999; ALBUQUERQUE et al., 2009).

Os óleos e graxas presentes no esgoto são oriundos da preparação e do uso dos alimentos (óleos vegetais, manteiga, carnes e outros). Podem estar presentes também sob a forma de óleos minerais derivados do petróleo (querosene, óleo lubrificante). Particularmente, os óleos e graxas não são desejáveis nas unidades de tratamento de esgoto, uma vez que aderem às paredes, produzem odores desagradáveis, formam espuma nos decantadores e interferem na ação dos microrganismos biológicos. Tipicamente no esgoto doméstico, apresentam-se concentrações de óleos e graxas entre 50 e 150 mg.L<sup>-1</sup> (FUNASA, 2004; JORDÃO; PESSOA, 2011).

Das propriedades físicas do esgoto, o material sólido é o de maior relevância, e é categorizado com base em diversos fatores, como em função da dimensão das partículas (sólidos suspensos, coloidais e dissolvidos), da sedimentabilidade (sólidos sedimentáveis, flutuantes ou flotáveis e não sedimentáveis), da secagem em temperatura média, 103 a 105 °C (sólidos totais, suspensos totais e dissolvidos totais) e da secagem a elevada temperatura, 550 a 600 °C (sólidos fixos e voláteis). O

conhecimento das frações de sólidos auxilia em diversos aspectos de projeto e controle operacional das ETEs, a identificação dos sólidos sedimentáveis, por exemplo, indica a quantidade de resíduos que podem ser removidos nos decantadores, já a identificação dos sólidos voláteis no lodo, indica a estabilidade biológica desse subproduto (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Dos nutrientes, os dois principais são nitrogênio e fósforo. O primeiro, é encontrado de diversas formas, variando conforme os estados de oxidação, como principais formas pode-se citar o nitrogênio total, nitrogênio orgânico, amônia livre, nitrito e nitrato. No esgoto fresco, tem-se a predominância do nitrogênio orgânico. Esse composto, quando em contato com as bactérias oxidantes, converte o nitrogênio existente primeiramente em amônia, em seguida em nitrito e por fim em nitrato. Desse modo, as formas com que o nitrogênio aparece, define a idade do efluente, bem como o grau de estabilização da matéria orgânica. O segundo nutriente encontra-se na forma orgânica e inorgânica. O fósforo orgânico aparece combinado com a matéria orgânica em proteínas e aminoácidos, e o fósforo inorgânico apresenta-se sob a forma de ortofosfato e polifosfatos (ESTEVES, 1998; PHILIPPI; SEZERINO, 2004; VON SPERLING et al., 2009; VON SPERLING, 2017).

Sobre as características microbiológicas, existem diversos microrganismos presentes no esgoto que indicam poluição, os quais promovem interferências negativas na saúde pública. Desses, pode-se citar os coliformes termotolerantes, ovos de helmintos (*Ascaris lumbricoides* e *Trichuris trichura*), cistos de protozoários (*Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica* e *Cryptosporidia spp.*), dentre outros (NUVOLARI, 2003; FUNASA, 2004; JORDÃO; PESSOA, 2011).

### 2.1.1 Caracterização da matéria orgânica

Como citado anteriormente, a matéria orgânica é o principal parâmetro de caracterização do esgoto. A matéria orgânica, pode ser dividida em duas classes, a matéria orgânica antrópica (MOA), sendo todas aquelas compostas por elementos que não são encontrados na natureza, como plástico, princípio ativo de detergentes e anabolizantes, e outros, e a matéria orgânica natural (MON), sendo todas aquelas oriundas de processos biológicos e organismos vivos, que possuem tamanho e composição química variável, dependendo da origem e idade do material (LEENHEER; CROUÉ, 2003; CARSTEA, 2012).

Por sua vez, a MON pode ser subdividida de acordo com sua origem, podendo ser classificada como autóctone ou alóctone. A matéria orgânica autóctone é aquela originada no sistema, ou seja, aquela produzida pela biota aquática presente no corpo aquático; e, a matéria orgânica alóctone, é aquela provida fora do sistema, isto é, oriunda de contribuições de substâncias pontuais ou difusas, como por exemplo esgoto doméstico e águas residuárias (LEENHEER; CROUÉ, 2003; CARSTEA, 2012; BEM et al., 2013).

A matéria orgânica, tanto autóctone quanto alóctone, é dividida em duas classes quando avaliada sua degradabilidade, sendo elas: matéria orgânica lábil, à qual é suscetível à degradação, e a matéria orgânica refratária, constituída de compostos estáveis. A matéria orgânica refratária encontra-se em maior quantidade (70 a 80%) e é subdividida em duas subclasses: a matéria orgânica refratária pedogênica (MORP) e a matéria orgânica refratária aquagênica (MORA). A primeira é formada por estruturas químicas predominantemente aromáticos e, normalmente, é originada no solo. A segunda é caracterizada por estruturas químicas com cadeias alifáticas, e origina-se da biota aquática (EVANS et al., 2005; BEM et al., 2013).

Os principais métodos para caracterização da matéria orgânica são Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Contudo, tratam-se de análises indiretas que possibilitam uma avaliação quantitativa e não apresentam características de composição ou origem (KUMAR; KUMAR, 2005; BEM et al., 2013).

A DBO consiste na quantidade de oxigênio consumido pelos microrganismos durante a degradação biológica da matéria orgânica. A determinação é realizada em laboratório, a temperatura controlada, durante certo período de tempo (KUMAR; KUMAR, 2005). A DBO é o único parâmetro quantitativo de matéria orgânica constante na resolução brasileira, mais precisamente na CONAMA 357/2005, que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências” (CONAMA, 2005).

Quanto à DQO, corresponde a quantia de oxigênio necessário para oxidação da matéria orgânica por meio da ação de um agente químico. A execução do método leva aproximadamente duas horas (tempo de oxidação) e a concentração é obtida por meio da diferença entre a concentração inicial e final do oxidante (MOURA; LEITE; PRASAD, 2005; ALBUQUERQUE et al., 2009; BEM et al., 2013).

## 2.2 TRATAMENTO DO ESGOTO DOMÉSTICO

A falta de tratamento do esgoto doméstico e condições apropriadas de saneamento, contribuem com a disseminação de diversas doenças e com a poluição dos corpos d'água, afetando os recursos hídricos e a vida vegetal e animal. Nesse contexto, visando manter condições ideais de saúde e preservar o meio ambiente, faz-se necessário realizar o tratamento do esgoto, retirando os poluentes e atendendo aos padrões de lançamento ou a qualidade desejada (FRANÇA JUNIOR, 2008).

De acordo com Jordão e Pessoa (2011) e Metcalf e Eddy (2016), os compostos encontrados no esgoto são removidos por meio de processos unitários de tratamento, sendo eles físicos, químicos e biológicos. Como exemplos de processos unitários em que são aplicadas forças físicas, tem-se peneiramento, mistura, floculação, sedimentação, flotação, filtração e adsorção. Nos processos unitários químicos, realiza-se a remoção por meio da adição de compostos químicos, ocasionando reações químicas, como a precipitação, oxidação, coagulação, floculação e desinfecção. Já como processos unitários biológicos tem-se os métodos nos quais a remoção depende da ação de microrganismos, podendo remover matéria orgânica, sólidos e nutrientes.

Para remoção dos contaminantes, habitua-se agrupar alguns processos unitários, conforme o nível de remoção desejado, classificando-os em tratamento preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar é basicamente composto de três etapas, sendo elas gradeamento, desarenação e medição de vazão, é aplicado com o intuito de prevenir problemas operacionais ou de manutenção às operações e aos processos de tratamento do esgoto. O gradeamento, é utilizado para remoção dos sólidos grosseiros que encontram-se em suspensão, como por exemplo galhos, trapos, madeiras e outros materiais de maior diâmetro. A desarenação visa reter areia e detritos inertes e pesados, oriundos de lavagens, enxurradas, infiltrações, e outros, e a medição de vazão tem o objetivo de controlar a vazão afluente para os equipamentos de tratamento seguintes (VON SPERLING, 1996; ANDRADE NETO; CAMPOS, 1999; MENDES et al., 2005).

Após o tratamento preliminar, o esgoto segue para o tratamento primário, objetivando remover parte dos sólidos sedimentáveis e da matéria orgânica ali presente. Nessa etapa pode-se realizar uma seleção do tratamento adequado para cada tipo de efluente, sendo possível a aplicação de decantadores, tanques de

equalização, e outros. (BRAILE; CAVALCANTI, 1993; VON SPERLING, 1996; METCALF; EDDY, 2016).

Na sequência, o tratamento secundário visa uma maior remoção da matéria orgânica e dos sólidos, por meio de mecanismos biológicos seguidos de separação física. Por fim, o tratamento terciário tem por objetivo remover nutrientes e muitas vezes contaminantes específicos (tóxicos, não biodegradáveis), bem como efetuar a retirada complementar dos poluentes não removidos nos processos anteriores (VON SPERLING, 1996; LEITÃO et al., 2006).

### 2.2.1 Tratamento biológico do esgoto doméstico

No tratamento biológico, a matéria orgânica contida no esgoto é transformada pela ação bioquímica dos microrganismos, essencialmente bactérias heterótrofas. O consumo de matéria orgânica por esses seres ocorre por meio de dois mecanismos diferentes, denominados de anabolismo e catabolismo. No anabolismo, a matéria orgânica é utilizada pelas bactérias heterótrofas com o intuito de efetuar a síntese do material celular, ocasionando um aumento da massa bacteriana. No catabolismo, as bactérias utilizam a matéria orgânica como fonte de energia, convertendo-a em produtos estáveis e liberando energia (FORESTI et al., 1999).

As características dos produtos formados dependem da origem das bactérias heterótrofas, as quais distinguem-se conforme o sistema de tratamento. Fundamentalmente, diferem-se dois ambientes de tratamento distintos, sendo eles o aeróbio, que ocorre apenas na presença de oxigênio, o qual atua como oxidante, transformando a matéria orgânica em produtos inorgânicos, como dióxido de carbono e água. E o anaeróbio, onde ocorre a chamada digestão, caracterizada pelo fato da matéria orgânica transformar-se sem ser oxidada (FORESTI et al., 1999).

No tratamento aeróbio parte da matéria orgânica que alimenta o sistema é degradada biologicamente e convertida em dióxido de carbono (cerca de 40 a 50%), outra parte é convertida em biomassa (entre 30 e 40%), vindo a se constituir no lodo excedente do processo, e o restante deixa o sistema como matéria orgânica não degradável (entre 5 e 15%), sendo descartado juntamente com o efluente (CHERNICHARO, 2011; NOYOLA; MORGAN-SAGASTUME; GUERECA, 2013).

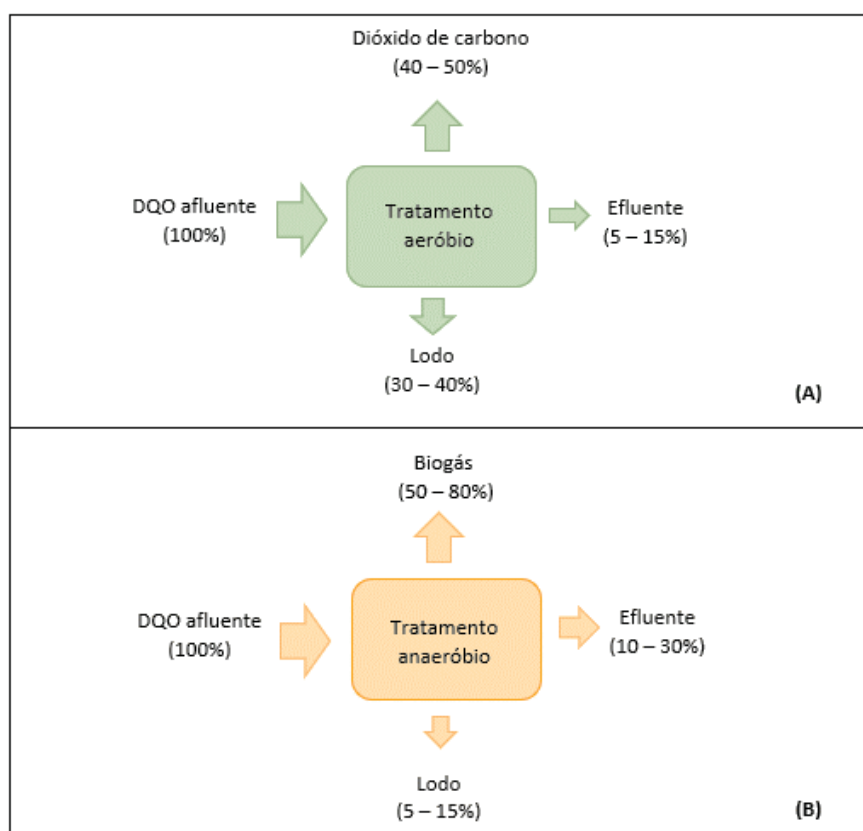
No tratamento anaeróbio, aproximadamente 50% da matéria orgânica biodegradável presente na fase líquida que entra no sistema é convertida em biogás,



o qual possui em sua composição metano, que pode ser aproveitado por conta de seu potencial energético. O restante do material orgânico, cerca de 5 a 15%, é convertido em novas células microbianas, vindo a fazer parte do lodo excedente do processo, o qual normalmente apresenta melhores características quando comparado ao lodo aeróbio, apresentando maior concentração e favorecendo o processo de secagem. A matéria orgânica que não é convertida em biogás ou em biomassa, entre 10 e 30%, sai do reator na forma de material não degradado (CHERNICHARO, 2011; MORGAN-SAGASTUME; GUERECA, 2013).

Na FIGURA 1 é possível observar um diagrama esquemático simplificado das rotas de conversão da matéria orgânica nos processos aeróbio e anaeróbio. O primeiro apresenta maior qualidade do efluente, porém possui custo elevado e origina mais lodo para ser tratado e disposto. O segundo gera menos sólidos (lodo) e produz biogás, com potencial para aproveitamento, entretanto, não remove nutrientes e emite gases odorantes e corrosivos.

FIGURA 1 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DAS ROTAS DE CONVERSÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA



Nota: (A) sistema aeróbio; (B) sistema anaeróbio.

FONTE: Adaptado de CHERNICHARO (2011).

### 2.2.2 Tratamento anaeróbio do esgoto doméstico

A principal etapa do tratamento anaeróbio, denomina-se digestão, onde diversos grupos de microrganismos realizam uma transformação sequencial do substrato. Isso ocorre, tendo em vista que apenas um único grupo não é capaz de transformar diretamente a matéria orgânica complexa em produtos finais (FORESTI et al., 1999; CHERNICHARO, 2011; CABRAL, 2016).

A digestão anaeróbia sucede-se em quatro fases sequenciais, cada uma com sua colônia de bactérias/arqueas específicas, sendo elas hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Uma via alternativa pode acontecer, quando na presença de sulfato, denominada de sulfetogênese (FORESTI et al., 1999; FORESTI; ZAIAT; VALLERO, 2006; KORSACK, 2008).

Na hidrólise, a matéria orgânica particulada complexa é transformada em compostos dissolvidos mais simples, ou seja, de menor peso molecular, que são capazes de adentrar as paredes celulares das bactérias fermentativas. Nessa etapa, as proteínas são transformadas em aminoácidos, os carboidratos em açúcares solúveis e os lipídios em ácidos graxos de longa cadeia carbônica e glicerina. Essa é uma fase lenta, dependente de fatores externos, como temperatura, tempo de detenção hidráulica, pH e outros (FORESTI et al., 1999; SILVEIRA et al., 2015).

Na acidogênese, os compostos dissolvidos formados no processo de hidrólise são absorvidos pelas células das bactérias fermentativas, metabolizados, e excretados na forma de substâncias orgânicas mais simples, como ácidos graxos voláteis de cadeia curta (AGV), álcoois, ácido láctico, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), dentre outros (FORESTI et al., 1999; CHERNICHARO, 2011).

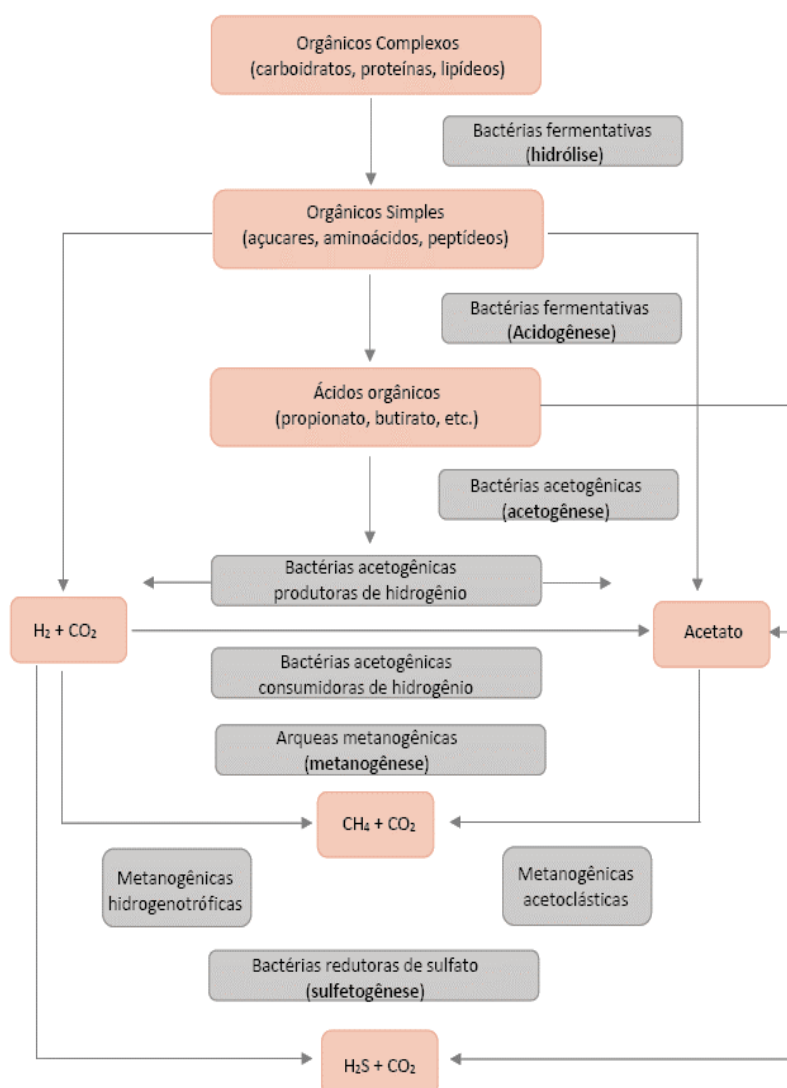
Na acetogênese ocorre a conversão dos produtos formados na acidogênese em subprodutos apropriados para produção de metano, sendo eles acetato, hidrogênio e dióxido de carbono (FORESTI et al., 1999; CHERNICHARO, 2011; SILVEIRA et al., 2015).

Na metanogênese ocorre a conversão limitada de substratos em metano e dióxido de carbono, por conta da ação das arqueas metanogênicas. Esses microrganismos são divididos em dois grupos, sendo eles: arqueas acetoclásticas, que transformam acetato em metano e dióxido de carbono, e arqueas hidrogenotróficas, que fazem uso do hidrogênio como doador de elétrons e do dióxido

de carbono como aceptor de elétrons para produção de metano. As arqueas que produzem metano a partir do hidrogênio crescem mais rapidamente que aquelas que utilizam o acetato (FORESTI et al., 1999; CHERNICHARO, 2011).

Na sulfetogênese, ocorre a formação de sulfetos por conta da ação das bactérias redutoras de sulfato. Nessa ocasião, as bactérias sulfatoreduoras competem com as arqueas metanogênicas pelos substratos. Esse processo é indesejado, tendo em vista que o produto formado (sulfeto de hidrogênio) possui odor desagradável, é tóxico e corrosivo (FORESTI et al., 1999). Na FIGURA 2 é possível observar um esquema simplificado das rotas metabólicas e dos grupos microbianos envolvidos no processo de digestão anaeróbia.

FIGURA 2 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DOS PROCESSOS QUE OCORREM NA DIGESTÃO ANAERÓBIA



FONTE: CHERNICHARO (2011).

Os processos de metabolismo microbiano são dependentes de diversos fatores, assim, para uma digestão ideal, faz-se necessário controlar algumas condições operacionais, como pH, acidez, alcalinidade e temperatura, e algumas condições de projeto, como preservar o sistema com uma grande massa de bactérias ativas e manter um contato abundante entre o material orgânico presente no esgoto e a massa de microrganismos (FORESTI et al., 1999; LEITÃO et al., 2006; DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

Referente às condições operacionais, os parâmetros de pH, acidez e alcalinidade devem estar em equilíbrio, sendo analisados concomitantemente. O bom desenvolvimento das bactérias responsáveis pelo processo de digestão requer controle do pH, sendo que o pH normal de crescimento encontra-se entre 6,2 e 7,8 e o pH ótimo na faixa de 6,5 e 7,5 (CAMPOS et al., 2006; PEREIRA; CAMPOS; MONTERANI, 2009). Baixos valores de pH (inferiores a 6,2) indicam o aumento das bactérias acidogênicas e, conseqüentemente, o aumento na produção de ácidos graxos voláteis (AGV), e isto pode ocasionar a acidificação do reator e a inibição das arqueas metanogênicas. Tal fato, normalmente, sucede-se por conta de sobrecarga na alimentação ou inibição por compostos tóxicos. A alcalinidade é a capacidade tampão do sistema, ou seja, a capacidade em neutralizar os ácidos. Quanto maior a alcalinidade, maior facilidade em manter o pH adequado. Nesse sentido, para boa operação do sistema, é indicado manter a relação alcalinidade/AGV superior a 4 (MCCARTY, 1974; FORESTI et al., 1999).

A temperatura é um parâmetro físico de elevada relevância, uma vez que afeta diretamente as taxas de reações biológicas e os parâmetros operacionais do reator, usualmente a temperatura de operação de um reator anaeróbio deve ser superior a 20°C. Quanto maior a temperatura, maior a atividade biológica, tendo em vista que a temperatura define as espécies predominantes nos sistemas anaeróbios, podendo ser termofílicas (50 – 65°C), mesofílicas (20 – 40°C) ou psicrófilicas (6 – 20°C). A temperatura ótima de crescimento das bactérias metanogênicas mesofílicas é de 37°C (FORESTI et al., 1999).

Na TABELA 3 é possível observar alguns dos parâmetros recomendados para controle operacional de reatores anaeróbios, bem como suas respectivas frequências de monitoramento.

TABELA 3 – PARÂMETROS RECOMENDADOS PARA CONTROLE DE REATORES ANAERÓBIOS E SUAS RESPECTIVAS FREQUÊNCIAS DE MONITORAMENTO

Parâmetros	Unidade	Frequência	Observação
Controle da eficiência do tratamento			
SSed	mL.L <sup>-1</sup>	Diária	(1)
SST	mg.L <sup>-1</sup>	Semanal	(1)
DQO	mg.L <sup>-1</sup>	Semanal	(1)
DBO	mg.L <sup>-1</sup>	Quinzenal	(1)
Produção de biogás	m <sup>3</sup> .d <sup>-1</sup>	Diária	(2)
<i>Escherichia coli</i>	NMP.100mL <sup>-1</sup>	Quinzenal	(1)
Ovos de helmintos	N.L <sup>-1</sup>	Quinzenal	(1)
Controle da estabilidade operacional			
Temperatura	°C	Diária	(3)
pH	---	Diária	(3)
Alcalinidade	mg.L <sup>-1</sup>	Semanal	(1)
Acidez	mg.L <sup>-1</sup>	Semanal	(1)
Composição do biogás	% CO <sub>2</sub> ou % CH <sub>4</sub>	Semanal	(2)
Quantidade e qualidade do lodo			
ST	mg.L <sup>-1</sup>	Semanal	(4)
SVT	mg.L <sup>-1</sup>	Semanal	(4)
AME	gDQO.gSVT <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup>	Mensal	(4)
Índice volumétrico de lodo	mL.g <sup>-1</sup>	Mensal	(4)
Estabilidade do lodo	gDQO.gSVT <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> ou % SVT.ST <sup>-1</sup>	Mensal	(4)

Nota: As análises devem ser efetuadas: (1) no afluente e no efluente; (2) no biogás; (3) no afluente e no interior do reator; (4) no lodo.

FONTE: CHERNICHARO (2011).

### 2.2.3 Tratamento do esgoto doméstico em reatores do tipo UASB

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, possuem diversas nomenclaturas. Sua estrutura se difere, mas o funcionamento e a degradação biológica são similares. As denominações mais utilizadas são Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF) e *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), este último, bastante empregue no estado do Paraná (ROSS, 2015).

Em países da América Latina e Caribe os reatores do tipo UASB são a terceira tecnologia mais aplicada (NOYOLA et al., 2012), já nos projetos de ETEs do Brasil, são amplamente utilizados para todos os portes de ETEs, possuindo elevada aceitação como primeiro estágio do processo de tratamento (CHERNICHARO et al., 2018). Isso ocorre, devido ao fato de que em países de clima quente esse tipo de reator possui melhor eficiência, visto que a degradação biológica em temperaturas maiores que 20°C obtém maior velocidade específica de consumo do substrato (FORESTI; ZAIAT; VALLERO, 2006; MIKI, 2010).

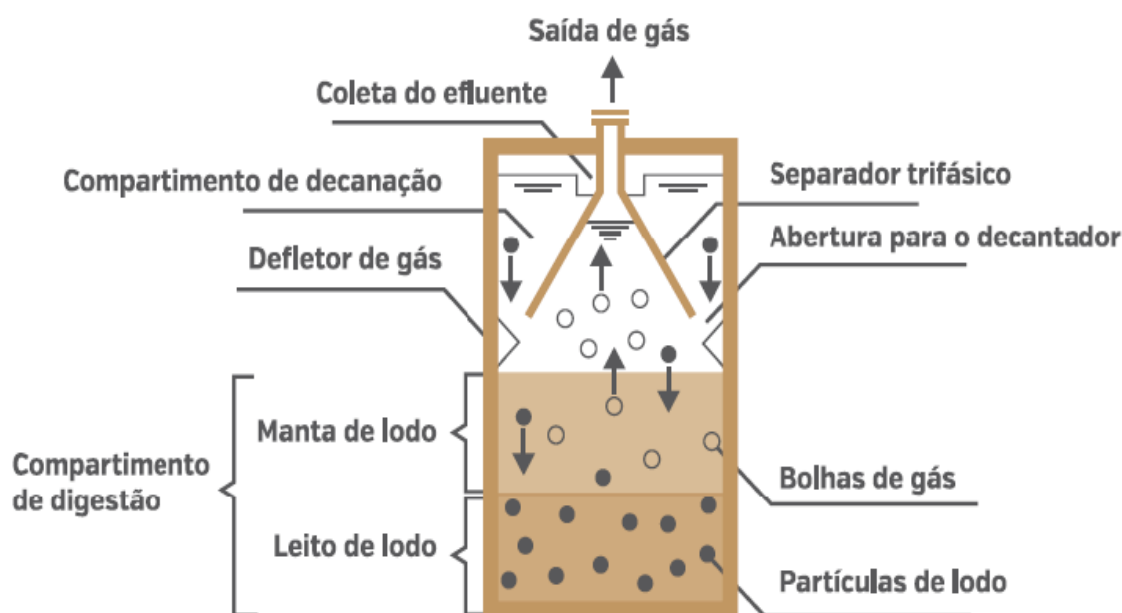
Os reatores do tipo UASB são caracterizados pela boa eficiência na remoção de matéria orgânica e de sólidos, com baixo consumo de energia e sem a necessidade do uso de produtos químicos (MIKI, 2010). Segundo von Sperling (1996), a baixa produção de lodo nesse tipo de reator (0,07 a 0,1 m<sup>3</sup>.hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e a pequena área necessária para construção (0,05 a 0,10 m<sup>2</sup>.hab<sup>-1</sup>) acarretam em menores custos de implantação. De acordo com Foresti et al. (1999), nas ocasiões em que o esgoto é majoritariamente doméstico, os compostos tóxicos e oriundos de enxofre são encontrados em baixas concentrações, sendo muito bem toleráveis pelos reatores do tipo UASB. Contudo, vale ressaltar que mesmo com estas diversas vantagens, os reatores do tipo UASB também apresentam algumas características desfavoráveis, como a remoção insatisfatória de nutrientes e patógenos, necessitando de pós-tratamento (VON SPERLING, 1996; CHERNICHARO et al., 1999; CHERNICHARO, 2011).

A estrutura desses reatores consiste basicamente de um tanque, onde na parte superior estão vinculados um decantador e um defletor dos gases formados, e na parte inferior tem-se um compartimento de digestão. Com o funcionamento adequado, ocorre a tendência de uma separação das fases sólida, líquida e gasosa (SOUZA; VIEIRA, 1986; LETTINGA, 2014).

Nos reatores do tipo UASB o fluxo do despejo a ser tratado é ascendente, seu desempenho está baseado na introdução do esgoto pela parte inferior, com distribuição em vários pontos do fundo. Ao percorrer a camada de lodo biológico (leito de lodo e manta de lodo) ali presente, ocorre o processo de digestão, ou seja, a degradação da matéria orgânica e a formação do biogás. Na parte superior, o defletor faz com que o biogás seja conduzido a uma região separada, podendo ser queimado ou tratado e utilizado para fins energéticos. O líquido e parte do lodo biológico em suspensão, entram no compartimento de decantação, onde ocorre a separação do

sólido e o retorno desse ao compartimento de digestão por gravidade, mantendo assim os microrganismos dentro do reator, a manta de lodo ativa e elevando o tempo de retenção celular sem aumentar o tempo de detenção hidráulica. O despejo tratado é descartado pela parte superior (SOUZA; VIEIRA, 1986; PATZA; GABARDO; PAWLOWSKY, 1989; NOYOLA; MORGAN-SAGASTUME; GÜERECA, 2013). Na FIGURA 3 é possível observar o desenho esquemático de um reator do tipo UASB.

FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM REATOR ANAERÓBIO DO TIPO UASB



FONTE: CHERNICHARO (2011).

Nesse sentido, resumidamente, o intuito do reator do tipo UASB é tratar esgoto doméstico anaerobicamente em alta taxa, isto é, com baixos tempos de detenção hidráulica, mas com elevados tempos de retenção de sólidos e com baixo crescimento celular (SOUZA, 2010).

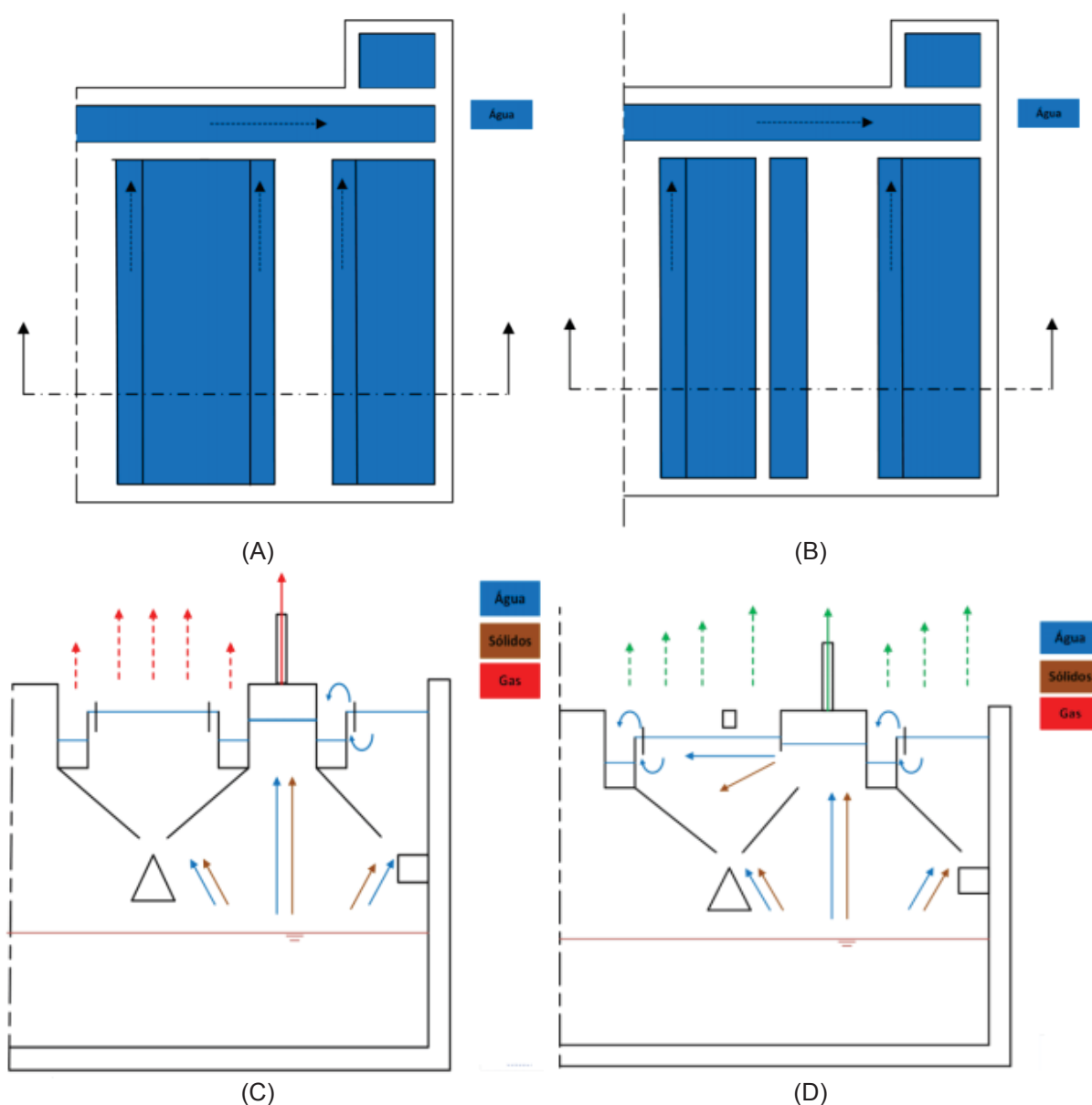
Desde o início de sua aplicação, os reatores do tipo UASB vem sofrendo modificações em seus projetos, visando obter maiores eficiências de remoção de matéria orgânica. Por exemplo, na cidade de Curitiba/PR, as ETEs Atuba Sul e Padilha Sul operam com reatores anaeróbios do tipo UASB modificado (ROSS, 2015).

Os reatores do tipo UASB modificado possuem uma comunicação maior entre o separador trifásico e a área de decantação, assim, o maior espaçamento que existe entre a lona sintética e o concreto acarreta em uma alteração na velocidade ascensional do esgoto tratado, podendo contribuir com a formação de altas taxas de



escuma (ROSS, 2015). Na FIGURA 4 é possível verificar uma imagem ilustrativa com as principais diferenças entre os reatores do tipo UASB tradicional e modificado.

FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO DAS DIFERENÇAS ENTRE OS REATORES TIPO UASB TRADICIONAL E UASB MODIFICADO



Nota: (A) Vista de topo para sistema de reator do tipo UASB tradicional; (B) Vista de topo para sistema de reator do tipo UASB modificado; (C) Seção transversal A-A com fluxo de água, sólidos e correntes de gás em sistema de reator do tipo UASB tradicional; (D) Seção transversal A-A com fluxo de água, sólidos e correntes de gás em sistema de reator do tipo UASB modificado.

FONTE: NETRA CONSULT (2016).

No reator do tipo UASB tradicional, o efluente entra no compartimento de decantação através de uma abertura existente entre o defletor e o coletor de gás e

continua verticalmente até atingir os esgotos posicionados unilateralmente em cada lado da câmara coletora de gás. Assim, quando comparado ao reator do tipo UASB modificado, o tradicional possui dois vertedores de transbordamento por compartimento de decantação. Além disso, no compartimento de decantação, os sólidos percorrem verticalmente, sendo separados do efluente por conta de uma velocidade de fluxo de esgoto menor que a velocidade de queda dos sólidos. Por outro lado, devido à direção de fluxo vertical homogênea, a emissão de gás dissolvido no nível de água superior do compartimento de sedimentação é mais uniforme (NETRA CONSULT, 2016).

No reator do tipo UASB modificado, o fluxo de esgoto divide-se em vertical e horizontal. No entanto, o fluxo horizontal é unilateral, por conta da estruturação do coletor de gás, que é formado por apenas um defletor lateral. A canaleta de efluente é localizada na parede exterior da câmara oposta de recolhimento de gás. Nesses reatores o compartimento de decantação atua como um tanque de sedimentação retangular atravessado horizontalmente, assim, o esgoto oriundo do coletor de gás, flui horizontalmente para os vertedores de transbordamento. Consequentemente, o gás dissolvido desdessa-se do esgoto à medida que flui na direção dos vertedores de transbordamento, e este fato diminui a presença de gás dissolvido no esgoto e a quantidade que eventualmente pode ser emanada para atmosfera (NETRA CONSULT, 2016).

Como principais parâmetros relacionados ao projeto dos reatores do tipo UASB, pode-se citar a carga hidráulica volumétrica (CHV), o tempo de detenção hidráulica (TDH), a carga orgânica volumétrica (COV) e a velocidade superficial de fluxo. A CHV é definida como o volume de esgoto doméstico aplicado diariamente no reator do tipo UASB, por unidade de volume do reator (Equação 1). Segundo Jordão e pessoa (2011), altos valores de CHV acarretam em problemas no funcionamento dos reatores, como perda excessiva de biomassa do sistema, por conta do arraste de lodo com o efluente; redução do tempo de residência celular (idade do lodo), o que produz uma diminuição do grau de estabilização dos sólidos, dentre outros. Estudos experimentais realizados por Chernicharo (2005) indicam que a CHV não pode ser superior a  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ .

$$CHV = \frac{Q}{V} \quad (1),$$

em que:

Q: vazão de esgoto doméstico ( $\text{m}^3.\text{d}^{-1}$ );

V: volume total do reator ( $\text{m}^3$ ).

Segundo a NBR 12209/2011, o TDH é a relação entre o volume útil de uma unidade de tratamento e a vazão afluyente (Equação 2), expressa em horas, dias ou equivalentes. Pode ser definido também como o inverso da carga hidráulica volumétrica (Equação 3). Para vazão média, considerando a temperatura média do esgoto no mês mais frio do ano e o volume total do reator do tipo UASB, a norma estabelece que o TDH deve ser igual ou superior a 6 h, para temperatura do esgoto maior que  $25^\circ\text{C}$ ; 7 h, para temperatura do esgoto entre  $22$  e  $25^\circ\text{C}$ ; 8 h, para temperatura do esgoto entre  $18$  e  $21^\circ\text{C}$ , e 10 h, para temperatura do esgoto entre  $15$  e  $17^\circ\text{C}$ .

$$\text{TDH} = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

$$\text{TDH} = \frac{1}{\text{CHV}} \quad (3)$$

A COV é definida como a razão entre a carga orgânica (expressa em DBO ou DQO) aplicada por dia e o volume útil do reator, expressa em  $\text{kg}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$  ou equivalente (Equação 4) (NBR 12209/2011). Segundo Aisse (2000), a carga orgânica volumétrica não deve exceder valores de 1 a  $2 \text{ kgDQO}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ , por motivos de limitação hidráulica.

$$\text{COV} = \frac{Q \cdot C_o}{V} \quad (4),$$

em que:

$C_o$ : concentração de substrato afluyente ao reator ( $\text{kg DQO}.\text{m}^{-3}$ ).

A velocidade superficial de fluxo ( $v$ ) é a razão entre a vazão de esgoto doméstico e a seção transversal do reator (Equação 5). Segundo Chernicharo (2011),

no tratamento de esgoto doméstico, normalmente são empregues velocidades superficiais entre 0,5 e 0,7 m.h<sup>-1</sup>.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (5),$$

em que:

v: velocidade superficial do fluxo, ou ainda velocidade ascensional (m.h<sup>-1</sup>);

A: área da seção transversal do reator do tipo UASB (m<sup>2</sup>).

A eficiência de operação dos reatores do tipo UASB pode ser determinada por meio de análises de SST, DBO e DQO (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). Algumas ETES apresentam boa eficiência de remoção de DQO e DBO, com valores de 80% e 85%, respectivamente. Já outras, retratam baixas eficiências, constatando que esses reatores ainda apresentam limitações. Na TABELA 4, é possível verificar a eficiência de várias ETES que fazem uso de reatores do tipo UASB, segundo diversos autores.

TABELA 4 – DESEMPENHO DE ETES QUE EMPREGAM REATORES ANAERÓBIOS DO TIPO UASB

Local	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência de remoção DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Eficiência de remoção DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	Referência
Brasil	267 – 613	-	56,4	-	Duarte et al. (2016)
Brasil	198 – 643	-	70	-	Chaves (2015)
Índia	202	60	63	67	Pandey e Dubey (2014)
Índia	139 – 567	57 – 159	29 – 75	45 – 79	Khan et al. (2014)
Brasil	283	-	58	-	Silva et al. (2013)
Brasil	114	38	79	84	Rosa et al. (2013)
Brasil	251	98	65	74	Oliveira e von Sperling (2011)
Índia	515	115	41	50	Mungray e Patel (2011)
Índia	405	153	44	40	Mungray e Patel (2011)
Índia	145 – 250	55 – 75	45	60	Walia et al. (2011)
Colômbia	-	60	-	77	WERF (2010)
Brasil	170	66	58	68	Franco (2010)
Brasil	247	97	62	67	Van Lier et al. (2010)

<b>Local</b>	<b>DQO (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>DBO (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Eficiência de remoção DQO (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Eficiência de remoção DBO (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Referência</b>
Índia	285	121	46	41	Van Lier et al. (2010)
Brasil	190	70	60	65	Chernicharo et al. (2009)
Brasil	546 – 177	334 – 85	68	85	Ramos (2008)
Colômbia	144	-	58	-	Penã et al. (2006)
Brasil	181	75	64	74	Baréa e Alem Sobrinho (2006)
Brasil	106	69	72	72	Carraro (2006)
Brasil	161	66	77	78	Tachini et al. (2006)
Índia	403	130	47	50	Sato et al. (2006)
Oriente Médio	221	83	71	70	Nada et al. (2006)
Índia	-	-	61	61	Khalil et al. (2006)
Jordânia	632	-	58	-	Halalseh et al. (2005)
Brasil	350 – 97	153 – 41	73	74	Versiane (2005)
Brasil	237	64	60	69	Busato (2004)
Brasil	453 – 151	310 – 44	67	86	Aisse (2002)
Brasil	202	-	67	-	Florencio et al. (2001)
Colômbia	177	69	66	78	Peña et al (2000)
México	-	-	70 – 80	-	Monroy et al. (2000)

FONTE: Adaptado de CHERNICHARO et al. (2015).

Ressalta-se que, apesar de na maioria das vezes as eficiências alcançadas serem elevadas, normalmente o efluente do reator do tipo UASB não alcança os padrões de lançamento definidos pela legislação ambiental, fazendo-se necessário a implementação de pós-tratamento, de forma a complementar a remoção da matéria orgânica, nutrientes e patógenos (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Além disso, ETEs compostas por reatores do tipo UASB e pós-tratamento, geralmente, apresentam redução dos custos de implantação (CAPEX) entre 20-50% e de operação (OPEX) superior a 50%, quando comparadas com estações convencionais, e este fato, é responsável pelo incremento dos níveis de tratamento de esgoto na América Latina (CHERNICHARO et al., 2015).

## 2.3 SUBPRODUTOS DO TRATAMENTO ANAERÓBIO

### 2.3.1 Caracterização e produção de biogás

O tratamento do esgoto doméstico com a aplicação da tecnologia anaeróbia, ocasiona a produção de subprodutos com potencial aproveitamento, como o biogás, o qual pode ser utilizado como fonte de energia, tendo em vista seu elevado poder calorífico.

Quando não manejado corretamente, esse gás contribui significativamente para o aumento do aquecimento global, tendo em vista que em sua composição tem-se majoritariamente gás metano ( $\text{CH}_4$ ), e esse é um dos principais gases indutores do efeito estufa (GEE), com potencial de aquecimento global em torno de 32 vezes superior ao dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (IPCC, 2014). Com isso, atualmente, devido ao potencial poluidor desse gás e à limitação de recursos para aproveitamento, sua destinação final na grande maioria ETEs restringe-se à queima com baixa eficiência (KOGA, 2016).

Para Noyola, Morgan-Sagastume e López-Hernández (2006), o biogás oriundo da digestão anaeróbia da matéria orgânica é prioritariamente composto por metano, nitrogênio e dióxido de carbono. Em menores proporções, ainda podem ser encontrados sulfeto de hidrogênio, oxigênio, hidrogênio, monóxido de carbono, amônia e compostos orgânicos voláteis. Ressalta-se que a elevada fração de nitrogênio presente no biogás produzido a partir do esgoto doméstico, deve-se ao nitrogênio dissolvido no esgoto, o qual é removido da fase líquida passando para fase gasosa.

A proporção de cada composto presente no biogás depende de diversos fatores. De acordo com Noyola, Morgan-Sagastume e López-Hernández (2006) a composição varia com a concentração de matéria orgânica a ser digerida, as condições físico-químicas do digestor (pH, alcalinidade, temperatura) e a presença de alguns ânions, como o sulfato e o nitrato. Souza, Chernicharo e Melo (2010) relatam que as características desse gás dependem da temperatura e da pressão. Monte (2010) afirma que a composição é diretamente influenciada pela natureza do resíduo digerido e pelas condições em que a digestão anaeróbia ocorre.

De acordo com resultados recentes do Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS), o teor médio de

metano no biogás proveniente de reatores UASB tratando esgoto sanitário varia entre 70 e 81% (BRASIL, 2017). Na TABELA 5 pode-se verificar a composição típica do biogás gerado em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico e na TABELA 6 tem-se algumas das principais características desse gás.

TABELA 5 - COMPOSIÇÃO TÍPICA DO BIOGÁS GERADO EM REATORES ANAERÓBIOS, TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO.

Parâmetro	Concentração	Unidade
Metano	60 – 85	% em vol.
Dióxido de carbono	5 – 15	% em vol.
Monóxido de carbono	0,3	% em vol.
Nitrogênio	10 – 25	% em vol.
Hidrogênio	0 – 3	% em vol.
Sulfeto de hidrogênio	1000 – 5000	ppm
Oxigênio	0 – 2	% em vol.

FONTE: adaptado de NOYOLA; MORGAN-SAGASTUME; LÓPES-HERNÁNDEZ (2006); LOBATO (2011); SILVA; POSSETTI; COELHO (2014); KOGA (2016).

TABELA 6 – CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS

Parâmetro	Biogás (60% CH <sub>4</sub> )	Unidade
Densidade	1,21	kg.m <sup>-3</sup>
Índice de Wobbe (baixo) <sup>(A)</sup>	19,5	MJ.m <sup>-3</sup>
Velocidade máxima de chama	0,25	m.s <sup>-1</sup>
Requisito teórico de ar	5,71	m <sup>3</sup> ar.m <sup>-3</sup> gás
Concentração máxima de CO <sub>2</sub> após combustão	17,8	%(v)

Nota: (A) medida do conteúdo energético do gás, mensurado com base no seu poder calorífico por unidade de volume à pressão e temperatura nas condições padrões.

FONTE: adaptado de WELLINGER; LINDBERG (2000); LOBATO (2011).

O metano, gás predominante na composição do biogás, é inodoro, incolor, pouco solúvel em água e possui molécula tetraédrica e apolar. É, também, o mais simples dos hidrocarbonetos, com elevado valor combustível. Além disso, é o principal subproduto da decomposição anaeróbia da matéria orgânica (METCALF; EDDY, 2004; RASI, S.; VEIJANEN, A.; RINTALAN J., 2007).

O dióxido de carbono, em condições normais de temperatura e pressão (CNT) é um gás incolor, inodoro, não combustível, não tóxico e levemente ácido.

Normalmente, esse composto está presente na atmosfera na forma de gás livre (SILVA, 2004).

O sulfeto de hidrogênio é um gás incolor, inflamável, corrosivo, mais denso que o ar atmosférico e possui cheiro similar ao ovo podre. Quando em elevadas concentrações é tóxico aos organismos e prejudicial à saúde humana. É considerado o principal gás odorífero produzido em ETEs que tratam esgoto doméstico anaerobicamente. É formado durante o processo de digestão pela ação das bactérias anaeróbias sulforedutoras (BRS), sendo que essas utilizam o sulfato e outros compostos à base de enxofre para respiração, resultando na formação dos sulfetos, que quando presentes no meio líquido, são facilmente liberados para atmosfera na forma de gás ( $H_2S$ ) (EGHBAL; PENNEFATHER; O'BRIEN, 2004; LAMBERT et al., 2006; CHEN et al., 2011; CHERNICHARO, 2011; ZHANG et al., 2013). Na TABELA 7 tem-se algumas das principais propriedades físicas desses compostos.

TABELA 7 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE ALGUNS DOS PRINCIPAIS COMPOSTOS DO BIOGÁS

Propriedades	$CH_4$	$CO_2$	$H_2S$
Peso molecular	16,04	44,01	34,08
Peso específico (Ar = 1)	0,555 <sup>(A)</sup>	1,52 <sup>(A)</sup>	1,189 <sup>(B)</sup>
Volume específico	1473,3 $cm^3.g^{-1}$ <sup>(A)</sup>	543,1 $cm^3.g^{-1}$ <sup>(B)</sup>	699,2 $cm^3.g^{-1}$ <sup>(B)</sup>
Capacidade calorífica Cp, a 1 atm	0,775 $kcal.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$ <sup>(A)</sup>	0,298 $kcal.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$ <sup>(C)</sup>	0,372 $kcal.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$ <sup>(C)</sup>
Relação CP/CV	1,307	1,303	1,32
Poder calorífico superior	13,268 $kcal.kg^{-1}$	0 $kcal.kg^{-1}$	4,633 $kcal.kg^{-1}$
Limite de inflamabilidade	5 – 15% por volume	Nenhum	4-46% por volume

Nota: (A): 60°C, 1 atm; (B) 70°C, 1 atm; (C) 77°C, 1 atm.

FONTE: ROSS; DRAKE (1996).

Todos os compostos gasosos presentes no biogás, em maior ou menor concentração, se solubilizam no líquido, e esse fato dificulta sua captura normal e condução para o destino correto (SOUZA, 2010). Estudos realizados por van Haandel e Lettinga (1994) e Noyola, Morgan-Sagastume e López-Hernández (2006), reportaram que parcelas significativas dos gases formados durante o processo de tratamento do esgoto tendem a permanecer dissolvido no líquido e, assim, sair com o efluente tratado ou encontrar outra rota de desprendimento.



Referente ao metano, Souza (2010) identifica que as pesquisas existentes quanto às alternativas de minimização ou remoção do metano dissolvido no efluente são incipientes, mesmo esse aspecto sendo de elevada relevância.

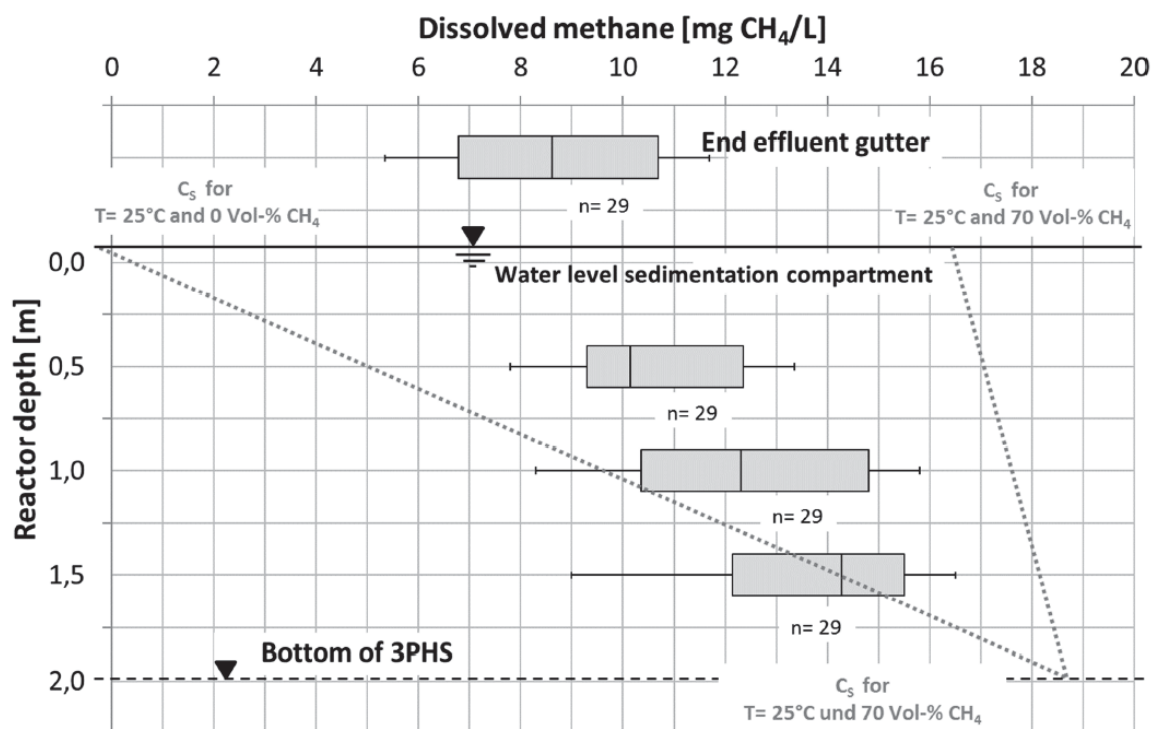
Em suas pesquisas, o autor relata também que as concentrações de metano dissolvido são relativamente elevadas, variando entre 17 e 21 mg.L<sup>-1</sup>, ou seja, as perdas do metano dissolvido no efluente dos reatores do tipo UASB atingem valores maiores que 30% de todo o metano gerado na unidade, comprovando assim, que existem grandes perdas de potencial energético com a dissolução desse composto no efluente.

Agrawal, Harada e Okui (1997) também quantificaram a perda de metano no efluente de reatores do tipo UASB, obtendo percentual em cerca de 50%. Para Keller e Hartley (2003) a perda de metano dissolvido no efluente foi menor, aproximadamente 14%.

Gervasoni e Cantão (2011) estudaram o metano dissolvido em duas ETEs que empregam reatores anaeróbios do tipo RALF, uma localizada em Curitiba/PR e outra em Foz do Iguaçu/PR. Os valores encontrados pelos autores foram de aproximadamente 10 mg.L<sup>-1</sup> de metano dissolvido no efluente final.

Nelting et al. (2017) também realizaram estudo em uma ETE com sistema de tratamento anaeróbio e obtiveram 8,5 mg.L<sup>-1</sup> de metano dissolvido. Os autores identificaram ainda que, a concentração de metano dissolvido diminui ao longo da altura do compartimento de decantação e que considerando a mediana das medições, cerca de 30% do metano dissolvido é perdido dentro do compartimento de decantação, mais 10% são emitidos ao longo da calha de coleta de efluentes e os 60% restantes nas etapas de pós-tratamento. (FIGURA 5).

FIGURA 5 – CONCENTRAÇÃO DE METANO DISSOLVIDO EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DO EFLUENTE NO COMPARTIMENTO DE DECANTAÇÃO DE UM REATOR ANAERÓBIO DO TIPO UASB EM ESCALA REAL.



FONTE: NELTING et al. (2017).

Alguns desses autores identificaram que em esgotos com baixa concentração de matéria orgânica e em sistemas com baixos tempos de detenção hidráulica, as perdas de metano dissolvido são maiores. Salienta-se que essas perdas indicam não apenas uma perda de potencial energético, mas também contribuem com a emissão de gases de efeito estufa (LOBATO, 2011).

O potencial energético do biogás está diretamente relacionado com a quantidade de metano, sendo esse um fator essencial para determinação do poder calorífico (COSTA, 2006). Na TABELA 8 é possível verificar as variações do poder calorífico inferior (PCI) do biogás, em função da concentração de metano, sendo que esse último, em condições normais de temperatura e pressão possui PCI de aproximadamente 11.940 kcal.kg<sup>-1</sup> (NOYOLA; MORGAN-SAGASTUME; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, 2006).

TABELA 8 – VARIAÇÃO DO PODER CALORÍFICO EM RELAÇÃO A COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

<b>Composição do biogás</b>	<b>Peso específico (kg.N<sup>-1</sup>.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>Poder Calorífico Inferior (kcal.kg<sup>-1</sup>)</b>
10% CH <sub>4</sub> e 90% CO <sub>2</sub>	1,8393	465
40% CH <sub>4</sub> e 60% CO <sub>2</sub>	1,4643	2.448
60% CH <sub>4</sub> e 40% CO <sub>2</sub>	1,2143	4.229
65% CH <sub>4</sub> e 35% CO <sub>2</sub>	1,1518	4.831
75% CH <sub>4</sub> e 25% CO <sub>2</sub>	1,0268	6.253
95% CH <sub>4</sub> e 05% CO <sub>2</sub>	0,7768	10.469
99% CH <sub>4</sub> e 01% CO <sub>2</sub>	0,7268	11.661

FONTE: AVELLAR (2001).

Devido ao elevado poder calorífico, esse gás pode ser utilizado em motores de combustão interna, iluminação, aquecimento, dentre outros. Consequentemente, pode ser um ótimo combustível alternativo, substituindo o GLP, querosene, óleo diesel e energia elétrica (CAMPOS, 1999).

Nas ETEs, o biogás pode ser aplicado na secagem de lodo ou para satisfazer parcialmente as necessidades energéticas, tendo em vista que nestas instalações os gastos referentes a energia são elevados. Dependendo do uso, o biogás pode ser utilizado da forma em que foi gerado. Entretanto, para alguns casos faz-se necessário seu tratamento, visando reduzir as concentrações de sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono, umidade, ou até mesmo elevar a pressão (COSTA, 2006; PROBIOGÁS, 2015).

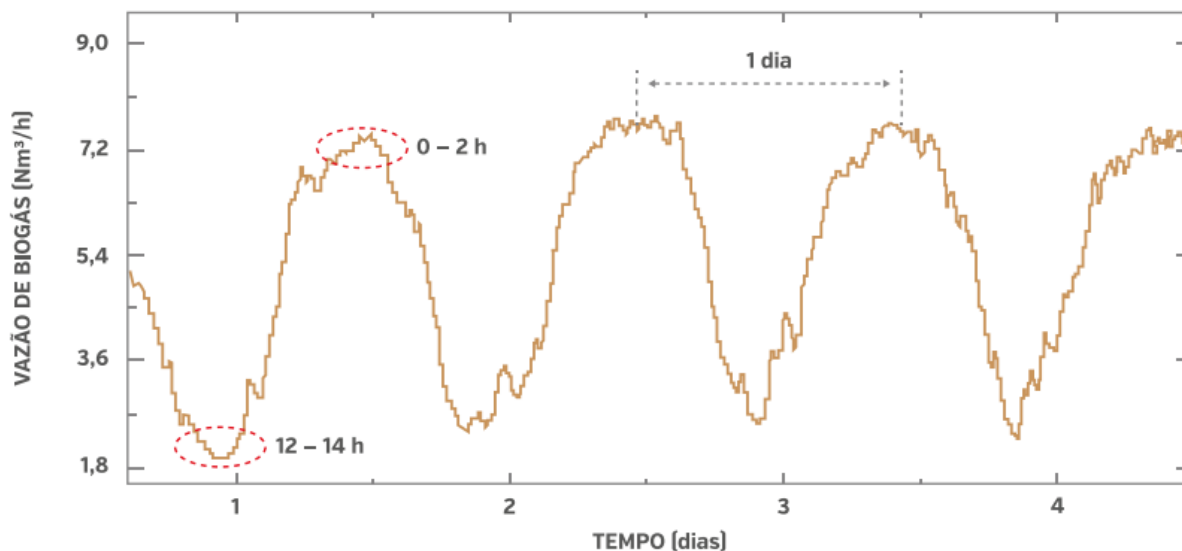
Concernente a estimativa da produção de biogás, a mesma pode ser obtida por meio de modelos matemáticos ou por medições diretas. Contudo, alguns estudos como o de Silva, Possetti e Coelho (2014), constataram que as quantidades estimadas a partir de modelos são maiores que aquelas mensuradas.

Possetti et al. (2013) realizaram medições em tempo real, em uma ETE de grande porte, localizada no município de Curitiba/PR, composta por quatro reatores anaeróbios do tipo UASB, alimentados com esgoto doméstico, durante seis meses. Os autores identificaram que a produção de biogás segue um comportamento temporal variável, periódico e não estacionário, dependente diretamente das propriedades físicas e químicas do esgoto.

Constataram também que a produção e desprendimento de biogás seguiu um padrão diário em um intervalo de tempo de um dia, sendo que as vazões máximas

ocorreram tipicamente entre 0 e 2 horas e as vazões mínimas entre 12 e 14 horas, conforme pode ser verificado na FIGURA 6.

FIGURA 6 – VAZÃO DE BIOGÁS EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 30 DIAS.

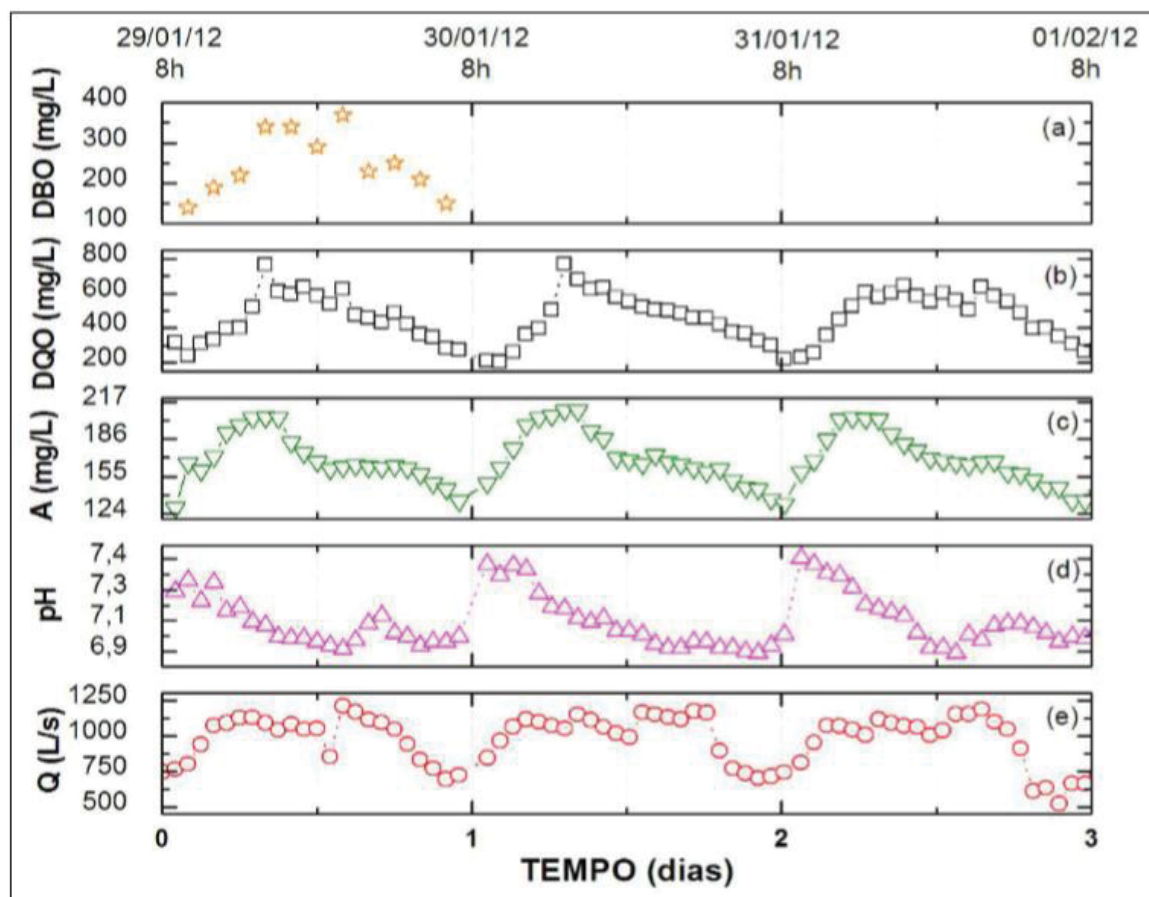


Nota: Em destaque são apresentadas as vazões de biogás para um intervalo de 4 dias.

FONTE: POSSETTI et al. (2013).

Os autores relataram também que os parâmetros de esgoto afluente como DBO, DQO, alcalinidade, pH e vazão de esgoto, descrevem um comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário, assim como aquele relativo a produção e desprendimento do biogás, conforme pode ser observado na FIGURA 7. Porém, o nível de significância e a correlação entre cada um dos parâmetros e a produção de biogás não foram definidos, constatando apenas que os parâmetros do meio líquido e a curva de produção de biogás possuem comportamentos temporais semelhantes.

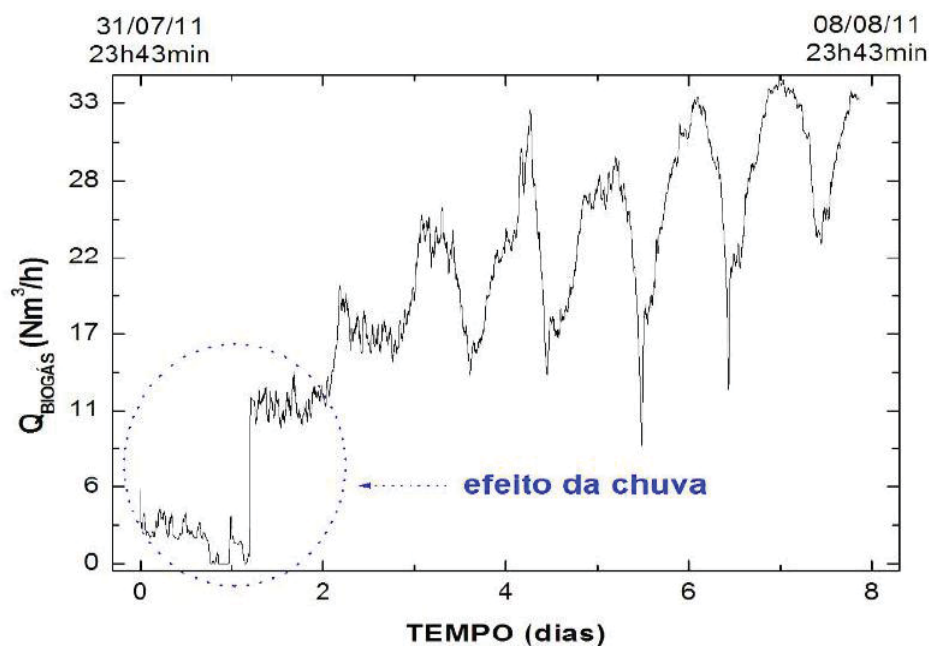
FIGURA 7 – CURVAS HORÁRIAS DE DBO (A), DQO (B), ALCALINIDADE TOTAL (C), PH (D) E VAZÃO AFLUENTE (E) ANALISADOS PARA UM INTERVALO DE 3 DIAS, NA AUSÊNCIA DE CHUVA.



FONTE: POSSETTI et al. (2013).

Além disso, a pesquisa verificou que eventos significativos de chuva diminuiriam a produção de biogás, conforme apresenta a FIGURA 8, provavelmente devido à diluição da matéria orgânica disponível para degradação anaeróbia.

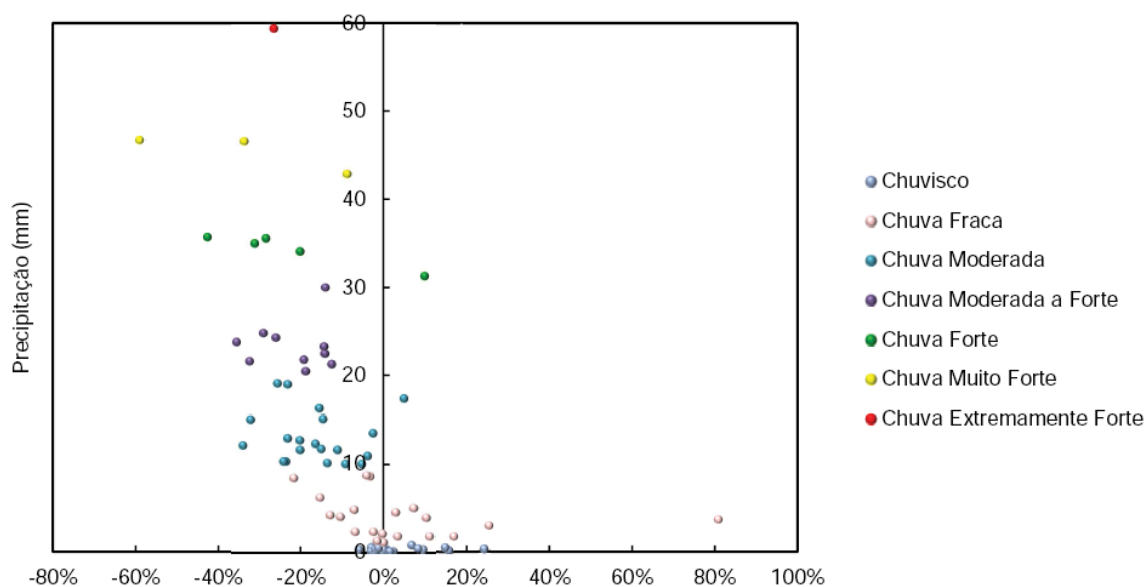
FIGURA 8 – INFLUÊNCIA DO EFEITO DA CHUVA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS



FONTE: POSSETTI et al. (2013).

Silva (2015) também relatou sobre a influência da chuva na produção de biogás. A autora afirma que a precipitação é um fator que pode reduzir significativamente a produção de biogás, e que quanto maior a intensidade da chuva, maior pode ser essa redução (FIGURA 9).

FIGURA 9 – VARIAÇÃO DA VAZÃO DE BIOGÁS EM RELAÇÃO AO DIA ANTERIOR EM FUNÇÃO DO VOLUME DE CHUVA DO DIA ANALISADO

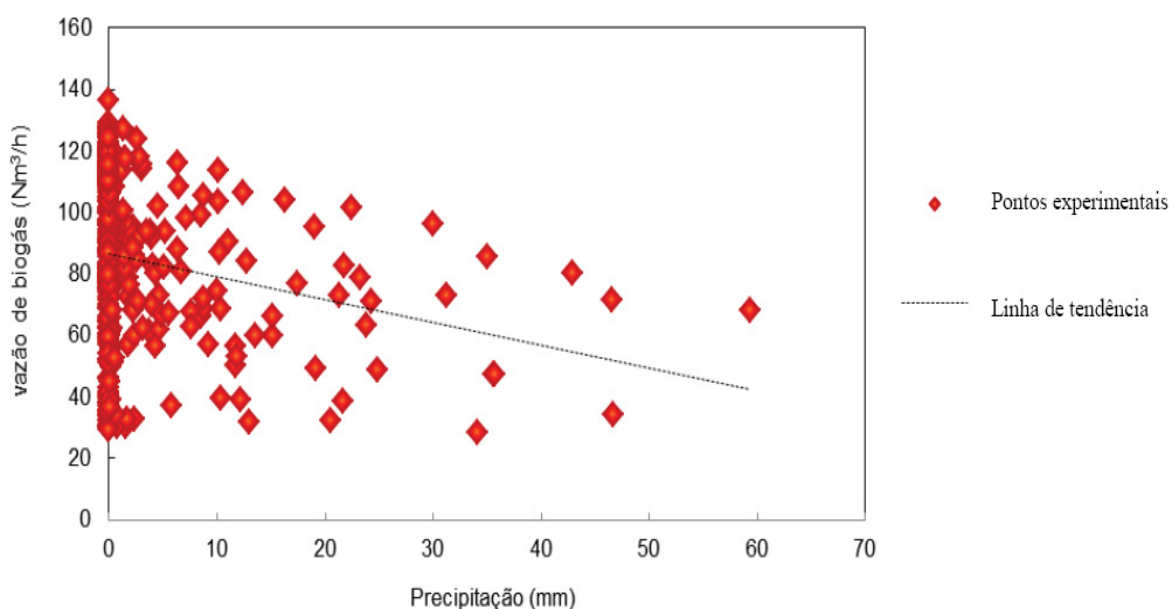


FONTE: SILVA (2015).

Waiss e Possetti (2015) corroboraram a informação de Silva (2015), afirmando que existe uma tendência de redução nas vazões de biogás à medida que as precipitações pluviométricas tornam-se mais intensas, em especial para eventos acima de 10 mm (FIGURA 10).

Os autores destacaram ainda que na ausência de chuva, a variação de biogás mostrou-se significativa, apresentando valores entre 28,17 e 136,52  $\text{N.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ , indicando que além dos eventos de chuva, existem outros fatores que influenciam diretamente nas taxas de produção de biogás.

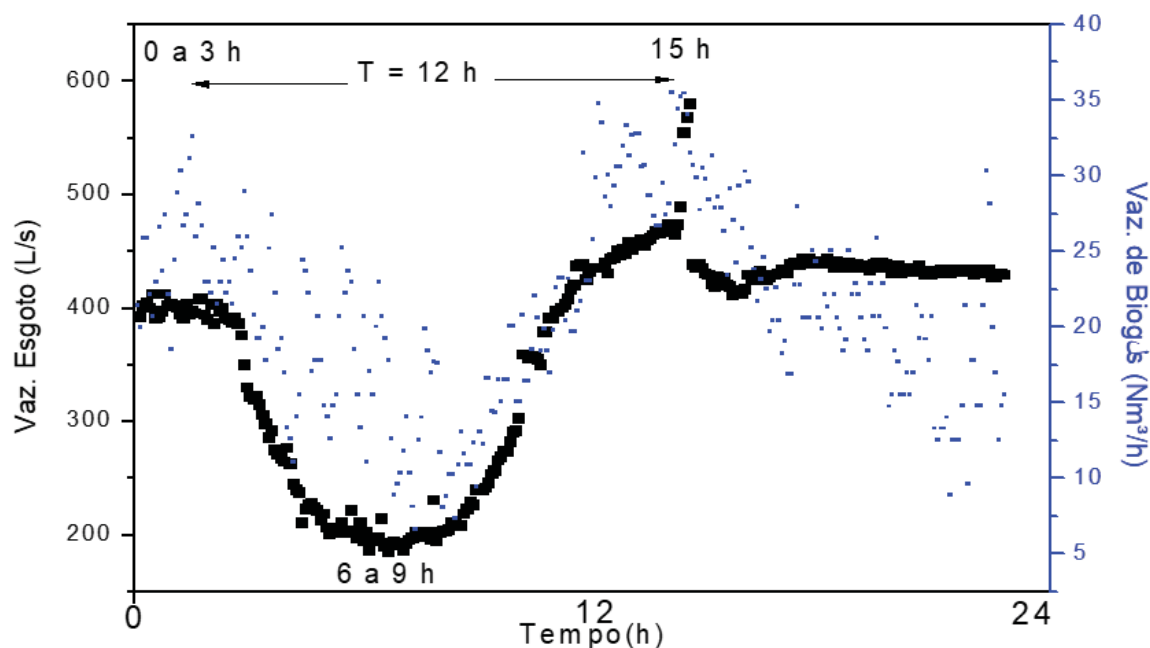
FIGURA 10 – VAZÃO MÉDIA DE BIOGÁS EM FUNÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DIÁRIA



FONTE: WAISS; POSSETTI (2015).

Duarte et al. (2018) avaliaram a produção de biogás em uma ETE de médio porte, localizada na cidade de Curitiba-PR, composta por 6 reatores do tipo UASB. Com os resultados, também verificaram que a produção segue um comportamento temporal, variável, periódico e não estacionário. Contudo, diferentemente do relatado por Possetti et al. (2013), a produção de biogás apresentou picos definidos em dois instantes do dia, um primeiro entre às 0 e 3 horas e um segundo aproximadamente às 15 horas, com tempo aproximado entre os máximos de 12 horas (FIGURA 11). Além disso, a vazão média horária de biogás obtida por Duarte et al. (2018) revelou-se inferior a  $(21,56 \pm 6,45) \text{ N.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$ , reportadas por Possetti et al. (2013).

FIGURA 11 – PRODUÇÃO HORÁRIA DE BIOGÁS EM UMA ETE



Nota: Em destaque são apresentadas as vazões de biogás para um intervalo de 1 dia.

FONTE: DUARTE et al. (2018).

Cabral (2016), no âmbito do PROBIOGÁS, realizou mensurações de quantidade e qualidade do biogás em 10 ETEs espalhadas pelo Brasil. Em relação à qualidade, a autora afirmou o estabelecido por Possetti et al. (2013), de que a produção de biogás segue comportamento temporal variável, periódico e não estacionário. Concernente à quantidade, foi relatado que o biogás apresentou elevadas concentrações de metano (65 a 88%), o dióxido de carbono variou de 4 a 14%, o oxigênio ficou próximo a 0% e o sulfeto de hidrogênio apresentou grande variação, com médias entre 1500 e 2000 ppm.

Segundo a autora, em algumas estações não há uma relação clara entre a vazão de esgoto que está sendo tratado e a vazão de biogás produzido, isto é, de maneira geral houve elevada variação na produção de gás para estações de porte similares, tendo em vista fatores como concentração do esgoto afluente, diferentes cargas orgânicas volumétricas, diferentes eficiências de remoção de matéria orgânica (devido a fatores como temperatura, controle e rotina operacional, projeto dos reatores, dentre outros) e estado atual das instalações.

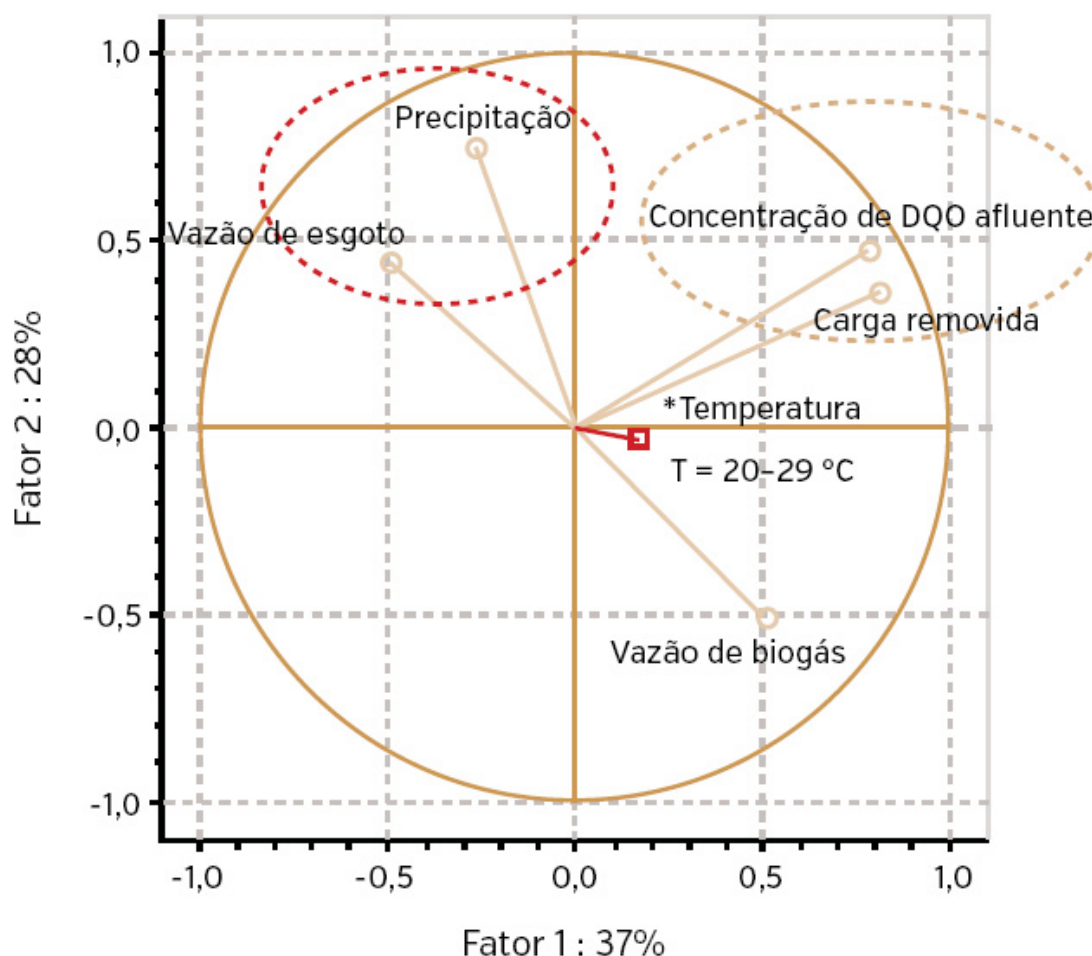
A autora apresentou também que a vazão de biogás está diretamente relacionada com a DQO afluente e a carga orgânica removida, e inversamente com a precipitação e vazão de esgoto. Já a temperatura do esgoto, não foi um fator



determinante, isto é, as outras variáveis desempenharam papel mais importante do que a temperatura.

Resultados recentes do Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS), corroboraram as informações apresentadas por Cabral (2016), demonstrando que a vazão de biogás se correlaciona positivamente com a concentração de DQO afluente e com a carga orgânica removida. Já com a temperatura e vazão de esgoto, se correlaciona negativamente. Especificamente em relação à temperatura do esgoto, essa foi a variável de menor importância em relação ao comportamento da produção de biogás. Tais informações foram comprovadas na pesquisa por meio de uma Análise de Componentes Principais (PCA), como pode ser verificado na FIGURA 12 (BRASIL, 2017).

FIGURA 12 – ANÁLISES DOS PRINCIPAIS FATORES INTERFERENTES NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM UMA DETERMINADA ETE



FONTE: BRASIL (2017).

### 2.3.2 Caracterização e produção de lodo

Outro subproduto gerado durante a etapa de tratamento do esgoto doméstico é o lodo e, suas características são consequência da composição do esgoto afluente, do sistema de tratamento implantado e do método de operação adotado (BITTENCOURT, 2014).

A composição do lodo oriundo do tratamento anaeróbio consiste em uma complexa mistura de substâncias orgânicas, inorgânicas e microrganismos, sendo que alguns dos principais compostos, como os nutrientes (nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e outros), são extremamente benéficos, podendo ser utilizados na agricultura. Contudo, a presença de patógenos, metais pesados e outros compostos prejudiciais, faz com que seja necessário o adequado gerenciamento e condicionamento do lodo, visando evitar possíveis contaminações ao meio ambiente e a saúde humana (MANARA; ZABANIOTOU, 2012; WIECHMANN et al. 2013).

Além disso, assim como o biogás, o lodo é um subproduto com potencial para aproveitamento e quando condicionado corretamente pode ser aplicado para fins energéticos. Na TABELA 9 tem-se algumas das principais características e produções do lodo anaeróbio oriundo de reatores do tipo UASB.

TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS E PRODUÇÕES DO LODO ANAERÓBIO ORIUNDO DE REATORES DO TIPO UASB.

<b>Característica</b>	<b>Valores usuais</b>	<b>Unidade</b>
Relação SV/ST	0,55 – 0,80	-
Teor de sólidos	3 – 5	%
Massa específica	1.010 – 1.020	kg.m <sup>-3</sup>
Produção de lodo líquido	0,2 – 0,6	L.hab <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup>

FONTE: adaptado de VON SPERLING; GONÇALVES (2001); JORDÃO; PESSOA (2011); KOGA (2016).

Segundo von Sperling e Gonçalves (2001), a produção de lodo está diretamente relacionada com o sistema e a etapa de tratamento utilizado para fase líquida, por exemplo os processos que recebem esgoto bruto em decantadores primários, geram o lodo primário, composto principalmente por sólidos sedimentáveis. Na etapa biológica de tratamento, tem-se a geração do lodo biológico, também denominado de lodo secundário, composto pela biomassa que cresceu utilizando o

esgoto afluente como alimento. A mistura do lodo primário com o lodo secundário, gera o lodo misto. E, em sistemas de tratamento físico-químicos, tem-se a produção do lodo químico.

A frequência, quantidade e forma de descarte do lodo também variam conforme os sistemas de tratamento de esgoto utilizados nas ETEs. O descarte do lodo biológico de reatores do tipo UASB, por exemplo, normalmente ocorre de 15 em 15 dias, sendo necessário para manter o sistema em equilíbrio, uma vez que como esse lodo compreende a biomassa de microrganismos, está em constante crescimento por conta da entrada contínua de matéria orgânica (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001).

Ressalta-se que, o descarte do lodo é uma etapa de elevada significância, uma vez que caso o reator UASB esteja operando com quantidades de lodos que ultrapassem sua capacidade de retenção e armazenamento, pode ocorrer perda excessiva de sólidos, impactando negativamente a qualidade do efluente e a eficiência do sistema (ALMEIDA et al., 2018).

O tratamento do lodo é bastante complexo e requer um conjunto de operações específicas. Para disposição desse subproduto, faz-se necessário conhecer todas as suas características e composições, afim de selecionar a alternativa mais adequada (BITTENCOURT, 2014). As principais etapas de gerenciamento do lodo e os processos utilizados em cada etapa estão relatados no TABELA 10.

TABELA 10 – ETAPAS DE GERENCIAMENTO DO LODO E PRINCIPAIS PROCESSOS UTILIZADOS

<b>Etapas</b>	<b>Processos</b>
Adensamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adensamento por gravidade;</li> <li>- Flotação;</li> <li>- Centrifugação;</li> <li>- Filtro prensa.</li> </ul>
Estabilização	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Digestão anaeróbia;</li> <li>- Digestão aeróbia;</li> <li>- Tratamento térmico;</li> <li>- Estabilização Química.</li> </ul>
Condicionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Condicionamento químico;</li> <li>- Condicionamento térmico.</li> </ul>
Desidratação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leitos de secagem;</li> <li>- Lagoas de lodo;</li> <li>- Filtros prensa;</li> <li>- Centrifugação;</li> <li>- Filtros a vácuo;</li> <li>- Secagem térmica.</li> </ul>
Higienização	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adição de cal;</li> <li>- Tratamento térmico;</li> <li>- Compostagem;</li> <li>- Oxidação úmida;</li> <li>- Outros (radiação gama, solarização, dentre outros)</li> </ul>
Disposição final	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reciclagem agrícola;</li> <li>- Recuperação de áreas degradadas;</li> <li>- Disposição no solo;</li> <li>- Uso não agrícola (fabricação de lajotas e outros)</li> <li>- Incineração;</li> <li>- Oxidação úmida;</li> <li>- Aterro sanitário.</li> </ul>

FONTE: VON SPERLING; GONÇALVES (2001).

### 2.3.3 Caracterização e produção de espuma

Segundo Souza, Aquino e Chernicharo (2006), a espuma é descrita como uma camada de materiais flutuantes que se desenvolve na superfície dos reatores. É composta por graxas, óleos vegetais, óleos minerais, gordura animal, sabões, cabelos, pontas de cigarros, papel, algodão e materiais particulados de forma geral, além disto possui também a própria biomassa que cresceu às custas do alimento fornecido pelo esgoto, ou seja, o lodo biológico (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001).

Quanto à composição da matéria orgânica presente na espuma, estudos desenvolvidos por Chernicharo (2005) indicaram que existe presença majoritária de lipídios, com  $27,41 \text{ g.L}^{-1}$  (36%), além de proteínas, com  $20,04 \text{ g.L}^{-1}$  e carboidratos, com  $14,14 \text{ g.L}^{-1}$ .

A composição e a quantidade de espuma gerada decorre diretamente das características do esgoto afluyente e do sistema de tratamento preliminar adotado. Assim, para uma menor incidência de materiais grosseiros na espuma, bem como uma menor produção desse subproduto, deve-se ter um tratamento preliminar eficaz (SILVA et al., 2005).

Para evitar que a espuma e até mesmo o lodo saiam juntamente com o efluente tratado, diminuindo a qualidade desse produto, é necessário a presença de dispositivos que impeçam esta saída, fazendo o acúmulo da espuma (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2007). No caso dos reatores do tipo UASB, o acúmulo da espuma ocorre na superfície do compartimento de decantação e no interior do separador trifásico (IST), também conhecido como gasômetro (ROSS, 2015).

Após o acúmulo da espuma nesses compartimentos, é necessário realizar o adequado manejo dos dispositivos para retirar a espuma ali presente, uma vez que o acúmulo por um longo período de tempo ocasiona diversos problemas operacionais, como o crescimento de plantas; a interferência no separador trifásico, sendo que no caso onde a separação é feita com lonas plásticas, pode ocorrer o desprendimento da mesma; a obstrução da interface gás-líquido, impedindo a saída de biogás, dentre outros (SOUZA et al., 2006; VAN LIER et al., 2011; PEREIRA; CHERNICHARO, 2013; ROSS, 2015). Na FIGURA 13 tem-se ilustrações de algumas possíveis problemáticas do acúmulo de espuma.

FIGURA 13 – FOTO DO ACÚMULO DE ESCUMA NA SUPERFÍCIE DO DECANTADOR DE REATOR TIPO UASB



(A)



(B)

Nota: (A) crescimento de plantas sobre espuma acumulada por longo período de tempo; (B) desprendimento da lona do separador trifásico do reator, devido ao acúmulo por longo período de tempo de espuma.

FONTE: ROSS (2015).

Referente à quantidade de espuma produzida, existem diversos fatores que intensificam a produção, tais como baixo tempo de detenção, que ocasiona o aumento da velocidade ascensional e o maior arraste de sólidos para superfície; o acúmulo de lodo no reator, que provoca maior perda de sólidos para o compartimento de decantação; o recebimento de efluentes oriundos de fossas sépticas, banheiros químicos e caixas de gordura, dentre outros (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006; LOBATO et al., 2007; SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2007; CHERNICHARO et al., 2009). Na TABELA 11 é possível verificar a produção de espuma segundo alguns autores.

TABELA 11 – PRODUÇÃO DE ESCUMA SEGUNDO DIVERSOS AUTORES

Referência	Faixa de valores	Unidade
ROSA et al. (2013) <sup>(A)</sup>	3,97	mL.kgDQOaplicada <sup>-1</sup>
	0,22	L.m <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup>
OLIVEIRA et al. (2007) <sup>(B)</sup>	1,1 – 1,3	gST.kgDQOaplicada <sup>-1</sup>
	0,01 – 0,04	L.kgDQOaplicada <sup>-1</sup>
Souza (2006) <sup>(C)</sup>	0,02 – 0,08	L.kgSSTaplicado <sup>-1</sup>
	1,0 – 2,4	gST.kgDQOaplicada <sup>-1</sup>
	1,5 a 5,4	gST.kgSSTaplicado <sup>-1</sup>

NOTA: (A) a taxa de geração foi avaliada em dois dos sete separadores trifásicos, em um dos oito reatores do tipo UASB da ETE Laboreaux de Itabira, Minas Gerais, Brasil; (B) avaliação em reatores do tipo UASB piloto, sendo um convencional e outro modificado, no qual se permitia a saída constante de toda a espuma produzida; (C) os valores foram obtidos em reatores do tipo UASB pilotos operando com velocidades ascensionais entre 0,5 a 1,1 m.h<sup>-1</sup>.

FONTE: ROSS (2015).

Como visto, as características quantitativas de espuma dependem de diversos fatores, sendo possível uma diversidade de taxas de geração. Já as características qualitativas, para mesmas localidades, e reatores de mesma concepção, não variam tanto ao longo do tempo. Por exemplo, estudos realizados por Souza, Aquino e Chernicharo (2007), por um período de 7 meses, em reatores piloto tratando esgoto doméstico ( $Q = 67 \text{ L.h}^{-1}$  e  $TDH = 7 \text{ h}$ ), apresentaram para espuma  $ST = 102 \text{ a } 123 \text{ g.L}^{-1}$ ,  $DQO = 152 \text{ a } 188 \text{ g.L}^{-1}$ ,  $DBO = 46 \text{ a } 60 \text{ g.L}^{-1}$ ,  $OD = 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  e relação  $STV/ST = 74\%$ .

Nesses mesmos pilotos, outro estudo realizado por Oliveira et al. (2007), indicou resultados de  $76 \text{ g.L}^{-1}$  de DQO,  $35 \text{ g.L}^{-1}$  de ST,  $26 \text{ g.L}^{-1}$  de STV e relação  $STV/ST$  de 75% para espuma presente no IST e,  $140 \text{ g.L}^{-1}$  de DQO,  $87 \text{ g.L}^{-1}$  de ST,  $62 \text{ g.L}^{-1}$  de STV e relação  $STV/ST$  de 71% para espuma do compartimento de decantação (OLIVEIRA et al., 2007). Na TABELA 12 tem-se algumas das principais características físico-químicas da espuma oriunda de reatores do tipo UASB segundo diversos autores.



TABELA 12 – VALORES DE CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA ESCUMA DE REATORES DO TIPO UASB

Referência	Parâmetro						
	ST (%)	SVT (%)	SVT/ST	pH	DQO (g.L <sup>-1</sup> )	DBO (g.L <sup>-1</sup> )	O&G (g.kg <sup>-1</sup> )
Ross et al. (2013) <sup>(A)</sup>	18,18	13,01	0,71	6,2	111	26	66
Ross et al. (2013) <sup>(B)</sup>	18,75	11,86	0,64	7,2	97	29	28
Souza et al. (2006)	11,2	-	0,74	-	170	53	-
Oliveira et al. (2007)	61	-	0,73	-	108	-	-
Versiani (2005)	0,65	-	0,69	-	14	-	-

Nota: (A) ETE Atuba Sul; (B) ETE Padilha Sul

FONTE: KOGA (2016).

As principais limitações quanto à espuma produzida nos reatores, estão relacionadas a ausência e/ou a não efetividade de rotinas operacionais adequadas de remoção de espuma, resultado em graves problemas operacionais. O acúmulo de espuma pode levar ao bloqueio da passagem do biogás, prejudicando sua coleta, além disso, pode ocasionar a diminuição da eficiência de tratamento, pela perda de espuma juntamente com o efluente (SATO et al., 2006; LOBATO et al., 2018). Usualmente, para maioria das ETEs, a retirada desse resíduo é realizada com o auxílio de caminhões limpa-fossa, e seu destino final são os aterros sanitários (CHERNICHARO et al., 2009; ROSA et al., 2013).

Nesse sentido, destaca-se que as ETEs do Brasil necessitam de diversas melhorias, associadas a projeto, construção e operação, como por exemplo: aprimoramento no tratamento preliminar, bombeamento e distribuição de vazão; gerenciamento adequado de lodo e espuma; controle e minimização de corrosão, emissões odorantes e emissões fugitivas de metano; melhora na qualidade do efluente, dentre outras, e a avaliação qualitativa e quantitativa do esgoto e dos subprodutos formados (biogás, lodo e espuma), bem como as relações entre esses compostos, fornecem embasamento para auxiliar no gerenciamento das ETEs e podem contribuir com a melhoria do sistema de tratamento (CHERNICHARO et al. 2018).



## 2.4 BALANÇO DE MASSA EM TERMOS DE DQO

De acordo com von Sperling (1996), o balanço de massa baseia-se na lei de conservação da massa para avaliação de sistemas físicos com limites definidos, a qual afirma que a matéria não pode ser criada ou destruída naturalmente, apenas pode ser transformada, ou seja, o balanço de massa descreve quantitativamente todos os materiais que entram, saem e se acumulam no sistema.

Para realização do balanço, primeiramente é preciso ter um volume de controle com as fronteiras identificadas, para posteriormente definir o fluxograma das operações e em seguida avaliar a sequência dos materiais no interior desse, sendo que, os compostos que entram no sistema podem ser acumulados, sair sem alterações ou serem transformados em outras substâncias (AQUIM, 2007).

Na gestão dos reatores utilizados para o tratamento de esgoto, o balanço de massa pode ser um instrumento de elevada significância, para Seghezze (2004), por exemplo, o balanço de massa em termos de DQO pode auxiliar no esclarecimento do fluxo de matéria orgânica que percorre o reator, na avaliação do desempenho do processo, na validação de métodos e parâmetros, além de prever os materiais de saída.

De acordo com van Haandel e Lettinga (1994), a remoção da matéria orgânica em sistemas de tratamento biológico ocorre por conta do metabolismo das bactérias, seja por meio do catabolismo, onde as bactérias fazem uso do material orgânico como fonte de energia, ou do anabolismo, onde a matéria orgânica é utilizada como fonte para síntese de material celular.

Os processos de catabolismo e anabolismo são interdependentes e ocorrem sempre simultaneamente, desse modo, a degradação da matéria orgânica pode ocorrer de quatro formas, sendo elas anabolismo (conversão em lodo), catabolismo fermentativo (conversão em metano), catabolismo oxidativo (conversão por oxidação) e descarga no efluente (permanência na fase líquida) (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Além disso, para esses autores, a massa diária de matéria orgânica no afluente deve ser igual à soma das massas diárias de matéria orgânica convertida em metano, lodo ou presente no efluente, mais a massa diária de matéria orgânica oxidada, conforme demonstra a Equação 6.

$$DQO_{\text{afl}} = DQO_{\text{efl}} + DQO_{\text{lodo}} + DQO_{\text{CH}_4} + DQO_{\text{oxi}} \quad (6),$$

em que:

$DQO_{\text{afl}}$ : massa diária de matéria orgânica afluenta;

$DQO_{\text{efl}}$ : massa diária de matéria orgânica efluente;

$DQO_{\text{lodo}}$ : massa diária de matéria orgânica convertida em lodo;

$DQO_{\text{CH}_4}$ : massa diária de matéria orgânica convertida em metano;

$DQO_{\text{oxi}}$ : massa diária de matéria orgânica oxidada.

Contudo, essa relação (Equação 6) utilizada por diversos autores não considera a parcela devido à redução de sulfato a sulfeto (sulfetogênese), a qual também oxida matéria orgânica, e possui elevada relevância, principalmente em esgotos que possuem elevadas concentrações de sulfato (AGRAWAL; HARADA; OKUI, 1997).

Pierotti (2007), por exemplo, apresenta em seu estudo um balanço de massa em termos de DQO, mas não considera a parcela devido à redução de sulfatos a sulfetos. Para as parcelas de matéria orgânica convertida em metano presente no biogás e dissolvida no meio líquido, o autor obteve quantidades percentuais de 20 a 25% da DQO afluenta, respectivamente. Além disso, para DQO efluente obteve percentual de 40 a 50% e para DQO convertida em lodo obteve percentual de aproximadamente 10%.

Dessa forma, destaca-se a necessidade de considerar no balanço de massa de DQO todas as parcelas de conversão da matéria orgânica, conforme demonstra a Equação 7 e a FIGURA 14 (LOBATO, 2011).

É fundamental considerar as parcelas convertidas em metano, tanto a presente no biogás, quanto a que se encontra dissolvida no meio líquido ou com o gás residual (perdas); a parcela devido à redução de sulfatos a sulfetos; a parcela que é convertida em biomassa, vindo a constituir o lodo, podendo ser subdividida no lodo que é retido no processo e no lodo que deixa o reator juntamente com o efluente; e a parcela que sai solubilizada no efluente (LOBATO, 2011).

$$DQO_{\text{afl}} = DQO_{\text{efl}_{\text{sol}}} + DQO_{\text{lodo}_{\text{ret}}} + DQO_{\text{lodo}_{\text{efl}}} + DQO_{\text{CH}_4\text{biogás}} + DQO_{\text{CH}_4\text{perdas}} + DQO_{\text{sulf}_{\text{red}}} \quad (7),$$

em que:

$DQO_{\text{afl}}$ : massa diária de matéria orgânica no afluente;

$DQO_{\text{efl}_{\text{sol}}}$ : massa diária de matéria orgânica solubilizada no efluente;

$DQO_{\text{lodo}_{\text{ret}}}$ : massa diária de matéria orgânica convertida em lodo retido no sistema;

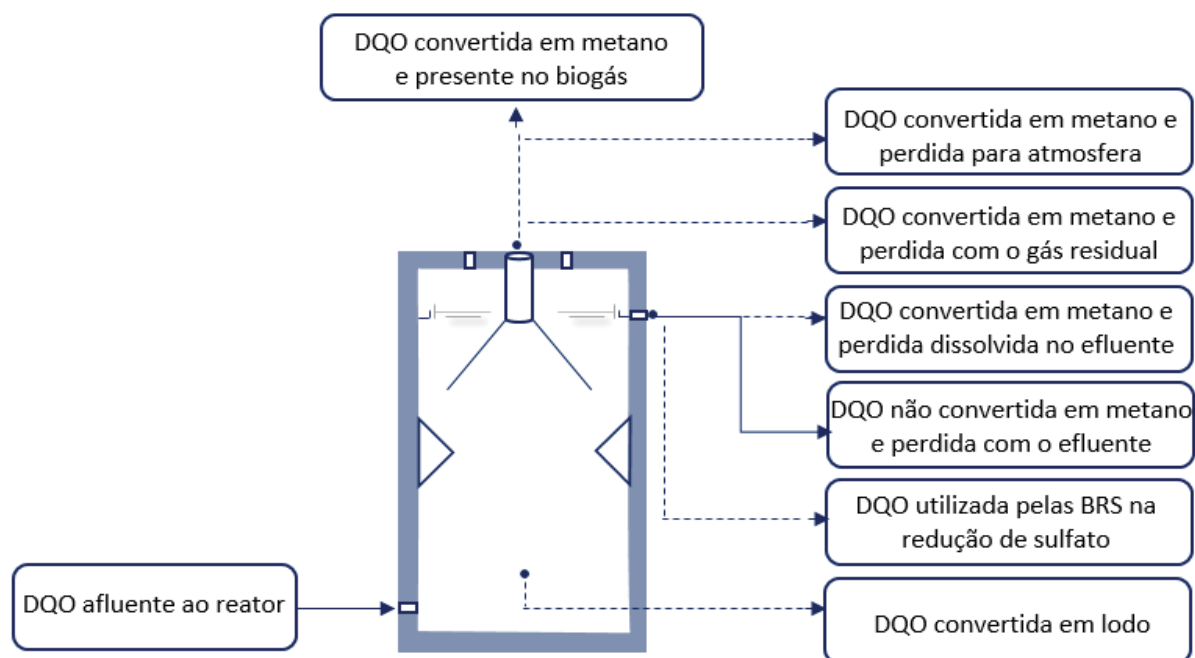
$DQO_{\text{lodo}_{\text{efl}}}$ : massa diária de matéria orgânica convertida em lodo e perdida com o efluente;

$DQO_{\text{CH}_4\text{biogás}}$ : massa diária de matéria orgânica convertida em metano e presente no biogás;

$DQO_{\text{CH}_4\text{perdas}}$ : massa diária de matéria orgânica convertida em metano e perdida dissolvida no efluente ou com o gás residual;

$DQO_{\text{sulf}_{\text{red}}}$ : massa diária de matéria orgânica utilizada pelas BRS na redução de sulfato.

FIGURA 14 – REPRESENTAÇÃO DAS ROTAS DE CONVERSÃO DE DQO E FLUXOS DE METANO EM REATORES DO TIPO UASB



FONTE: LOBATO (2011).

A exemplo disso, Souza (2010) desenvolveu balanços de massa em termos de DQO para dois reatores anaeróbios do tipo UASB, sendo um em escala piloto

(340 L) e um em escala de demonstração (14 m<sup>3</sup>), avaliando todas as parcelas de conversão da matéria orgânica durante o tratamento anaeróbio do esgoto. Os balanços indicaram as seguintes faixas para cada parcela: efluente solúvel (14 – 24%), lodo efluente (10 – 20%), lodo retido (8 – 10%), CH<sub>4</sub> biogás (24 – 30%), CH<sub>4</sub> dissolvido (16 – 18%), sulfato redução (4 – 5%).

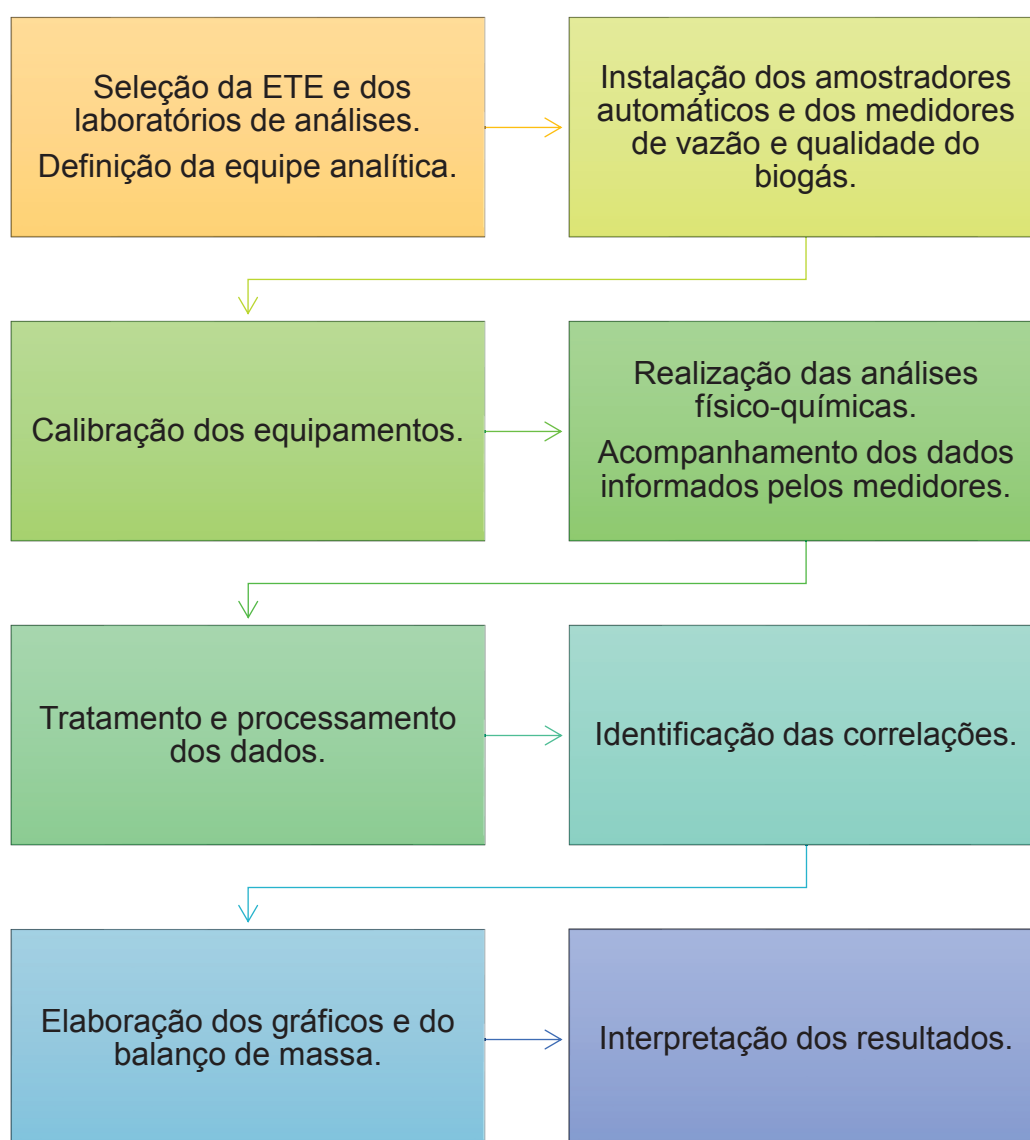
Lobato (2011), com base nos estudos de Souza (2010), propôs um modelo para realização do balanço de massa em termos de DQO, também contemplando todas as parcelas de conversão. A autora identificou valores para três cenários (pior, típico e melhor). No pior cenário, referente as maiores concentrações de sulfato, menor eficiência de remoção de DQO e maiores índices de perdas de metano, claramente a parcela de DQO convertida em metano e disponível para utilização foi menor, diferentemente do observado para a melhor situação. Para os três cenários, de toda DQO afluente ao sistema, 30 a 40% saiu solubilizada no efluente (30% para a pior situação e 40% para a melhor). A conversão em biomassa foi responsável por 13 a 15% da DQO aplicada ao sistema. Para redução do sulfato no afluente, foram obtidos percentuais de utilização de DQO variando entre 3 e 7%. Para as simulações de perda de metano com o efluente, 11 a 17% da carga de DQO aplicada foi convertida em metano e perdida dissolvida no efluente. Para a parcela de DQO aplicada convertida em metano e presente no biogás, o percentual variou de 19 a 39% (LOBATO, 2011).

Isto posto, nota-se que o balanço de massa em termos de DQO é um instrumento de elevada significância, que pode claramente ser utilizado no gerenciamento das ETEs. Contudo, ainda é pouco consolidado na literatura. De acordo com Souza (2010), ainda existem poucos trabalhos relativos a avaliação de balanços de massa de DQO para estações de tratamento de esgoto, sobretudo em reatores anaeróbios do tipo UASB tratando esgoto doméstico em escala real.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir descreve-se a metodologia utilizada para desenvolvimento da pesquisa. Na FIGURA 15 pode-se visualizar um fluxograma das principais etapas, as quais estão mais bem descritas nos subcapítulos a seguir.

FIGURA 15 - FLUXOGRAMA DAS PRINCIPAIS ETAPAS DA METODOLOGIA



### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1.1 Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)

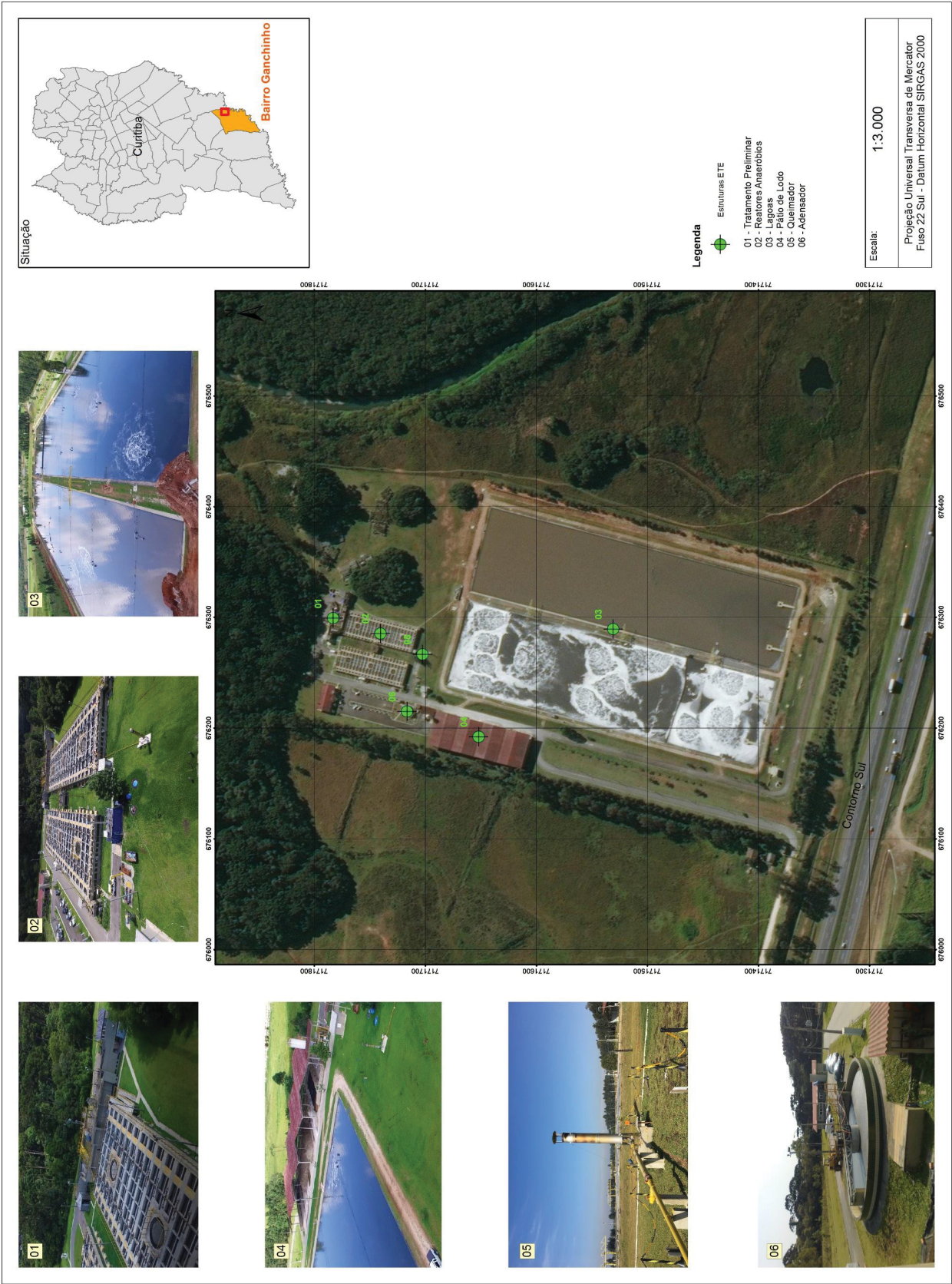
A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) objeto de estudo iniciou sua operação em dezembro de 2002 e está localizada na cidade de Curitiba, Estado do Paraná. A estação conta com uma vazão de projeto de  $440 \text{ L.s}^{-1}$ , porém atualmente trata em média  $320 \text{ L.s}^{-1}$ , é considerada uma ETE de médio porte e atende a uma população de aproximadamente 252.764 habitantes (SANEPAR, 2018).

A ETE é constituída de tratamento preliminar, tratamento secundário e pós-tratamento. O tratamento preliminar é formado por duas grades manuais, com espaçamento entre as barras de 10 e 5 cm, respectivamente, um gradeamento fino, composto por grade mecanizada com espaçamento entre as barras de 6 mm, um desarenador de limpeza mecanizada de fluxo horizontal e seção quadrada do tipo *Dorr-Oliver* e, uma calha *Parshall*. Para o tratamento biológico (secundário), a ETE conta com seis reatores anaeróbios do tipo UASB modificado, cada um com capacidade nominal de  $70 \text{ L.s}^{-1}$ , comprimento de 21 m, largura de 21 m, altura de 4,5 m, área útil total de  $94,5 \text{ m}^2$ , capacidade volumétrica de  $1.984,5 \text{ m}^3$  e TDH de aproximadamente 8 horas. Para o pós-tratamento, tem-se na estação uma lagoa aerada mecanizada, composta por cerca de 14 aeradores, e uma lagoa de decantação (SANEPAR, 2018).

Referente aos subprodutos oriundos do tratamento do esgoto doméstico na ETE, os resíduos grosseiros retirados do gradeamento, bem como a areia do desarenador, são descartados em caçambas e tem seu destino definido por empresas terceirizadas. O lodo biológico produzido nos reatores anaeróbios e nas lagoas é encaminhado a um adensador por gravidade e posteriormente segue para etapa de estabilização alcalina prolongada, para então ser disposto na agricultura. A espuma, é retirada por meio de caminhões de sucção e descartada por empresas terceirizadas. O biogás oriundo dos reatores do tipo UASB é queimado em *flares* enclausurados, com eficiência superior à 99% (SANEPAR, 2018). Na FIGURA 16 é possível observar a localização da ETE, tal como suas principais etapas de tratamento.



FIGURA 16 – LOCALIZAÇÃO DA ETE NO CONTEXTO REGIONAL, BEM COMO SUAS PRINCIPAIS ETAPAS DE TRATAMENTO



### 3.2 LABORATÓRIOS DE ANÁLISES

A maioria das análises necessárias para o desenvolvimento do trabalho, foram executadas no Laboratório de Pesquisa da ETE e no Laboratório de Pesquisa e Inovação do Centro de Tecnologias Sustentáveis (CETS), com o auxílio da equipe da Gerência de Pesquisa e Inovação (GPIN), da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e dos alunos do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), da Universidade Federal do Paraná (UFPR) (FIGURA 17). Com exceção da análise de metano dissolvido, que foi efetuada em laboratório externo, pela equipe do Programa de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (PPG-SMARH) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

FIGURA 17 – FOTOS DOS LABORATÓRIOS DE EXECUÇÃO DAS ANÁLISES



(A)

(B)

Nota: (A) laboratório de Pesquisa da ETE Padilha Sul; (B) laboratório de Pesquisa e Inovação do Centro de Tecnologias Sustentáveis (CETS).

### 3.3 PROCEDIMENTO PARA DETERMINAR AS RELAÇÕES ENTRE O BIOGÁS E OS PARÂMETROS DA FASE LÍQUIDA

Visando atender ao objetivo específico nº 1 da presente pesquisa, de avaliar as relações entre o biogás produzido e os parâmetros físico-químicos convencionais da fase líquida, realizaram-se análises físicas e químicas no esgoto afluente e efluente da estação, bem como a mensuração do biogás formado durante o processo de tratamento do esgoto doméstico.



### 3.3.1 Amostragem para caracterização da fase líquida

Para coleta das amostras referente à fase líquida do sistema, foram instalados na estação dois amostradores automáticos (FIGURA 18), um da marca Teledyne Isco, modelo *Portable Sample* 3700 e outro da marca Sigma, modelo SD900, sendo os dois equipamentos resistentes a intempéries e impactos, com sistema de limpeza automático.

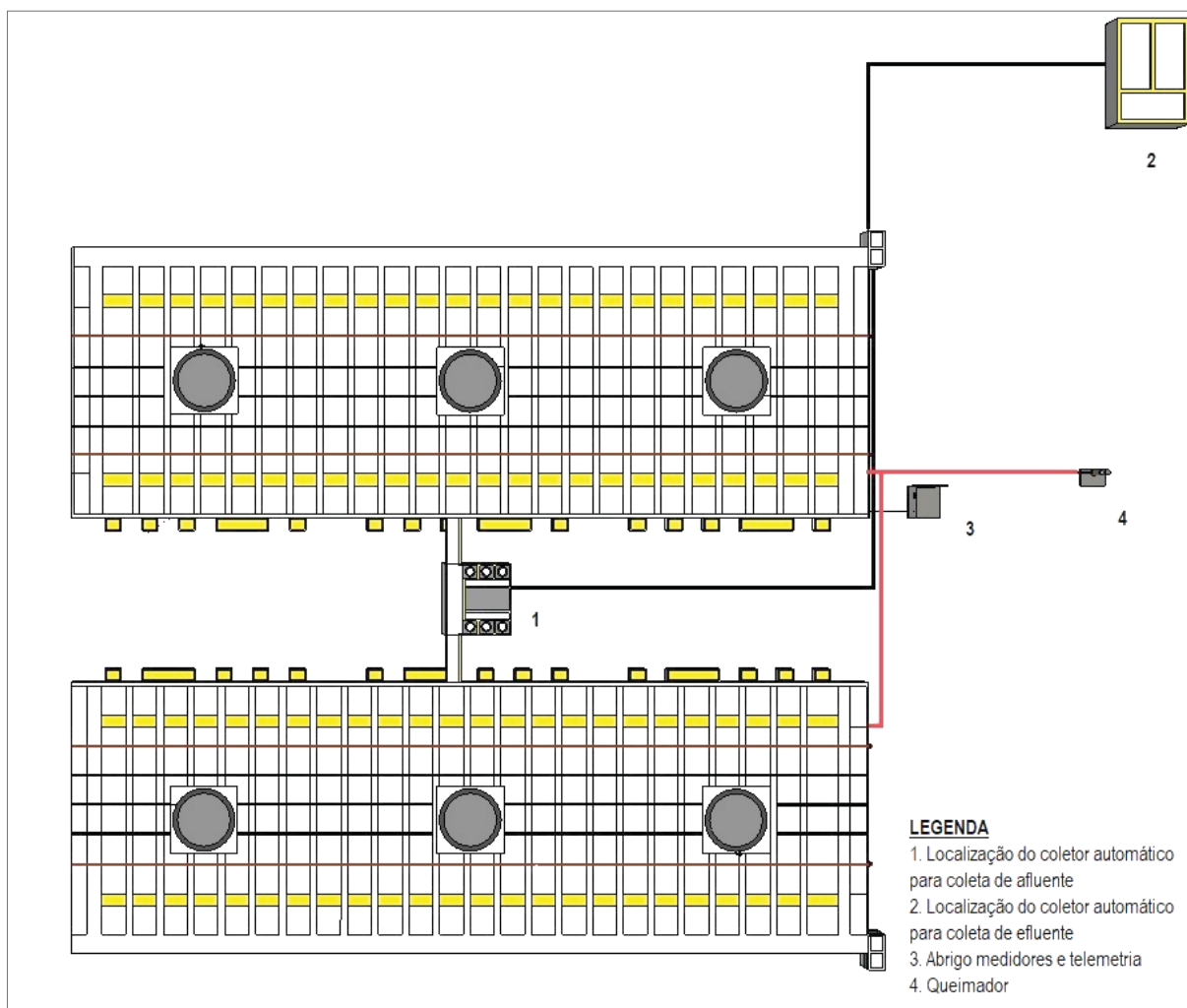
FIGURA 18 – FOTO DOS COLETORES AUTOMÁTICOS UTILIZADOS PARA COLETA DE ESGOTO



Nota: (A) coletor automático da marca Isco, modelo *Portable Sample* 3700; coletor automático da marca Sigma, modelo SD900.

Para coleta do esgoto afluente, o primeiro amostrador foi instalado na caixa distribuidora de esgoto para os reatores, localizada após o tratamento preliminar, e para coleta do esgoto efluente, o segundo amostrador foi alocado na caixa de distribuição de esgoto dos reatores para as lagoas. Na FIGURA 19 é possível verificar a localizações dos amostradores automáticos instalados na ETE.

FIGURA 19 – DESENHO ESQUEMÁTICO COM A LOCALIZAÇÃO DOS AMOSTRADORES AUTOMÁTICOS INSTALADOS NA ESTAÇÃO



Os dois amostradores automáticos foram programados para coletarem amostras de 1000 mL a cada uma hora, durante três dias consecutivos em uma semana (segunda-feira, terça-feira e quarta-feira), sendo que esse procedimento foi repetido ao longo de cinco meses (julho de 2018 a novembro de 2018). As amostras sempre eram retiradas dos coletores após o período de coleta de um dia (24 amostras).

Além disso, tendo em vista que algumas análises apresentam peculiaridades, como realização imediata e necessidade de preservante, e não podem ser realizadas com as amostras obtidas pelos coletores automáticos, também foram efetuadas amostragens pontuais às 8h, 12h e 16h. As coletas pontuais ocorreram nos mesmos locais onde encontravam-se instalados os amostradores automáticos.

### 3.3.2 Parâmetros avaliados para caracterização da fase líquida

Os parâmetros analisados para fase líquida foram vazão de esgoto, temperatura, pH, acidez, alcalinidade, DBO, DQO, DQO filtrada, série de sólidos, nitrogênio, fósforo, sulfeto, sulfato e metano dissolvido.

A quantidade de análises realizadas para cada parâmetro foi determinada de acordo com o objetivo, com as características das análises, com a capacidade do laboratório e com a capacidade da equipe analítica.

Para alguns parâmetros (DQO, DQO filtrada, SST, SSV, SSF, acidez e alcalinidade) foram efetuadas 24 análises por dia, durante 3 dias correlatos (com as amostras dos coletores automáticos), e para outros (pH, temperatura, DBO, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total, sulfato, sulfeto, sólidos sedimentáveis e metano dissolvido), 3 análises por dia, ao longo de três dias consecutivos (com as amostras coletadas pontualmente às 8h, 12h e 16h), como mostra a TABELA 13.

O detalhamento das análises, metodologia analítica, prazo de validade das amostras, preservação das amostras, referências utilizadas e faixas de detecção dos métodos, estão apresentados na TABELA 14.

Destaca-se que, o procedimento de coleta das amostras e realização das análises ocorreu por um período de 5 meses, contemplando diferentes estações do ano, como inverno e primavera, com diferentes condições climáticas, como tempo chuvoso, ensolarado, nublado e etc.

As etapas de preservação, transporte e armazenamento das amostras foram executadas em conformidade com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Conforme citado, algumas análises foram realizadas com as amostras obtidas por meio dos coletores automáticos, assim, tendo em vista que uma mesma amostra foi utilizada para várias análises, não foi possível realizar a acidificação para execução da análise de DQO.

Dessa forma, para verificar a influência da falta de acidificação nas análises de DQO efetuadas com as amostras dos coletores automáticos, realizou-se uma simulação em laboratório, com as condições observadas na prática.

Para tanto, coletou-se uma amostra de esgoto doméstico, mantendo-a sem acidificação (mesma situação/condição dos coletores automáticos). Na sequência, realizou-se análises de DQO com determinados intervalos de tempo.

A primeira análise foi realizada no ato da coleta, a segunda, 2 horas depois, a terceira, 4 horas depois, a quarta, 6 horas depois, a quinta, 22 horas depois, e a sexta, 24 horas depois. As análises para essa verificação, foram realizadas em triplicata.

Com os resultados obtidos, foi possível concluir que a variação percentual da DQO sem acidificação, ao longo do dia, encontra-se dentro do preconizado pelo *Standard* (APHA, 2012), o qual avaliou a DQO de 46 amostras, em 5 laboratórios distintos, apresentando valor médio de 200 mg.L<sup>-1</sup>, desvio padrão entre 17 e 21 mg.L<sup>-1</sup>, e coeficiente de variação entre 8,7 e 9,6%. Os resultados dessa avaliação encontram-se expressos no Apêndice 1.

TABELA 13 – QUANTIDADE DE ANÁLISES REALIZADAS PARA CADA PARÂMETRO DA FASE LÍQUIDA

Parâmetro	Quantidade de análises no afluente	Quantidade de análises no efluente
Vazão de esgoto (L.s <sup>-1</sup> )	-	-
Temperatura (°C)	3 análises por dia	3 análises por dia
pH	3 análises por dia	3 análises por dia
Acidez (mg.L <sup>-1</sup> )	3 análises por dia	24 análises por dia
Alcalinidade (mg.L <sup>-1</sup> )	3 análises por dia	24 análises por dia
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	3 análises por dia	3 análises por dia
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	24 análises por dia	24 análises por dia
DQOfiltrada (mg.L <sup>-1</sup> )	3 vezes por dia	24 análises por dia
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	24 análises por dia	24 análises por dia
SSV (mg.L <sup>-1</sup> )	24 análises por dia	24 análises por dia
SSF (mg.L <sup>-1</sup> )	24 análises por dia	24 análises por dia
Ssed (mL.L <sup>-1</sup> )	3 análises por dia	3 análises por dia
Nitrogênio total (mg.L <sup>-1</sup> )	3 análises por dia	3 análises por dia
Nitrogênio amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	3 análises por dia	3 análises por dia
Fósforo total (mg.L <sup>-1</sup> )	3 análises por dia	3 análises por dia
Sulfeto (mg.L <sup>-1</sup> )	3 análises por dia	3 análises por dia
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	3 análises por dia	3 análises por dia
Metano dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> )	-	3 análises por dia

TABELA 14 – CARACTERÍSTICAS DAS ANÁLISES REALIZADAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA FASE LÍQUIDA

Parâmetro	Método de análise	Prazo recomendado para análise	Preservação	Referência	Faixa de detecção
Vazão de esgoto ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) <sup>(A)</sup>	-	-	-	Calha Parshall	-
Temperatura (°C) <sup>(B)</sup>	-	Imediatamente após a coleta	-	Termômetro	-
pH <sup>(B)</sup>	Potenciométrico	Imediatamente após a coleta	-	APHA (2012) (código 4500H <sup>+</sup> )	-
Acidez ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) <sup>(B)</sup>	Titulométrico	24 horas	Refrigeração ( $T \leq 4^\circ\text{C}$ )	APHA (2012) (código 2310)	-
Alcalinidade ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) <sup>(B)</sup>	Titulométrico	24 horas	Refrigeração ( $T \leq 4^\circ\text{C}$ )	APHA (2012) (código 2320)	-
DBO <sub>5</sub> ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) <sup>(B)</sup>	Manométrico	24 horas	Refrigeração ( $T \leq 4^\circ\text{C}$ )	APHA (2012) (código 5210B)	0 – 2000 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
DQO ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) <sup>(B)</sup>	Espectrofotométrico	7 dias	Refrigeração ( $T \leq 4^\circ\text{C}$ ) e acidificação com $\text{H}_2\text{SO}_4$ ( $\text{pH} \leq 2$ )	Método Hach 8000 - <i>Reactor Digestion Method</i>	20 – 1500 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) e de 200 – 15000 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
DQOfiltrada ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) <sup>(B)</sup>	Espectrofotométrico	7 dias	Refrigeração ( $T \leq 4^\circ\text{C}$ ) e acidificação com $\text{H}_2\text{SO}_4$ ( $\text{pH} \leq 2$ )	Método Hach 8000 - <i>Reactor Digestion Method</i> .	20 – 1500 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) e de 200 – 15000 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
SST ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) <sup>(B)</sup>	Gravimétrico	7 dias	Refrigeração ( $T \leq 4^\circ\text{C}$ )	APHA (2012) (código 2540)	-

Parâmetro	Método de análise	Prazo recomendado para análise	Preservação	Referência	Faixa de detecção
SSV (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>(B)</sup>	Gravimétrico	7 dias	Refrigeração (T ≤ 4°C)	APHA (2012) (código 2540).	-
SSF (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>(B)</sup>	Gravimétrico	7 dias	Refrigeração (T ≤ 4°C)	APHA (2012) (código 2540)	-
SSed (mL.L <sup>-1</sup> ) <sup>(B)</sup>	Volumétrico	7 dias	Refrigeração (T ≤ 4°C)	APHA (2012) (código 2540)	-
Nitrogênio total (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>(B)</sup>	Espectrofotométrico	24 horas	Refrigeração (T ≤ 4°C)	Método Hach 10072 - <i>TNT Persulfate Digestion Method</i>	2 – 150 (mg.L <sup>-1</sup> )
Nitrogênio amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>(B)</sup>	Espectrofotométrico	24 horas	Refrigeração (T ≤ 4°C)	Método Hach 10031 - <i>Salicylate Method</i>	0,4 – 50 (mg.L <sup>-1</sup> )
Fósforo total (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>(B)</sup>	Espectrofotométrico	7 dias	Refrigeração (T ≤ 4°C) e acidificação com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH ≤ 2)	Método Hach Azul Fósforo-Molibdênio	1,0 – 100 (mg.L <sup>-1</sup> )
Sulfeto (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>(B)</sup>	-	Imediatamente após a coleta	-	APHA (2012) (código 4500S <sup>-2</sup> )	-
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>(B)</sup>	Espectrofotométrico	28 dias	Refrigeração (T ≤ 4°C)	Método Hach 8051 - <i>SulfaVer 4 Method</i>	2,0 – 70 (mg.L <sup>-1</sup> )
Metano dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>(C)</sup>	Cromatográfico	-	Refrigeração	Souza (2010)	-

Nota: (A): análise realizada apenas no afluente; (B) análise realizada no afluente e efluente; (C) análise realizada apenas no efluente.

Como as análises foram realizadas ao longo de três dias consecutivos, durante cinco meses (de julho/2018 a novembro/2018), tem-se 45 e 360 dados amostrados para cada um dos parâmetros de 3 vezes por dia (amostragens pontuais) e 24 vezes por dia (amostragens com os coletores automáticos), respectivamente, correspondendo a um total de 4950 dados amostrados.

Pelo fato de as análises não terem sido efetuadas em triplicata, realizou-se uma análise metrológica para todos os parâmetros medidos, com o intuito de verificar as incertezas/variações do mensurando em função das coletas e da não repetitividade.

Para tanto, no mês de dezembro/2018, realizaram-se 20 análises para cada um dos parâmetros mensurados, sendo eles: temperatura, pH, acidez, alcalinidade, DBO, DQO, DQO filtrada, SST, SSV, SSF, SSed, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total, sulfeto e sulfato. Das 20 análises, 10 foram realizadas com as amostras do esgoto afluyente e 10 com as amostras do esgoto efluente, todas em condições de repetitividade e reprodutibilidade.

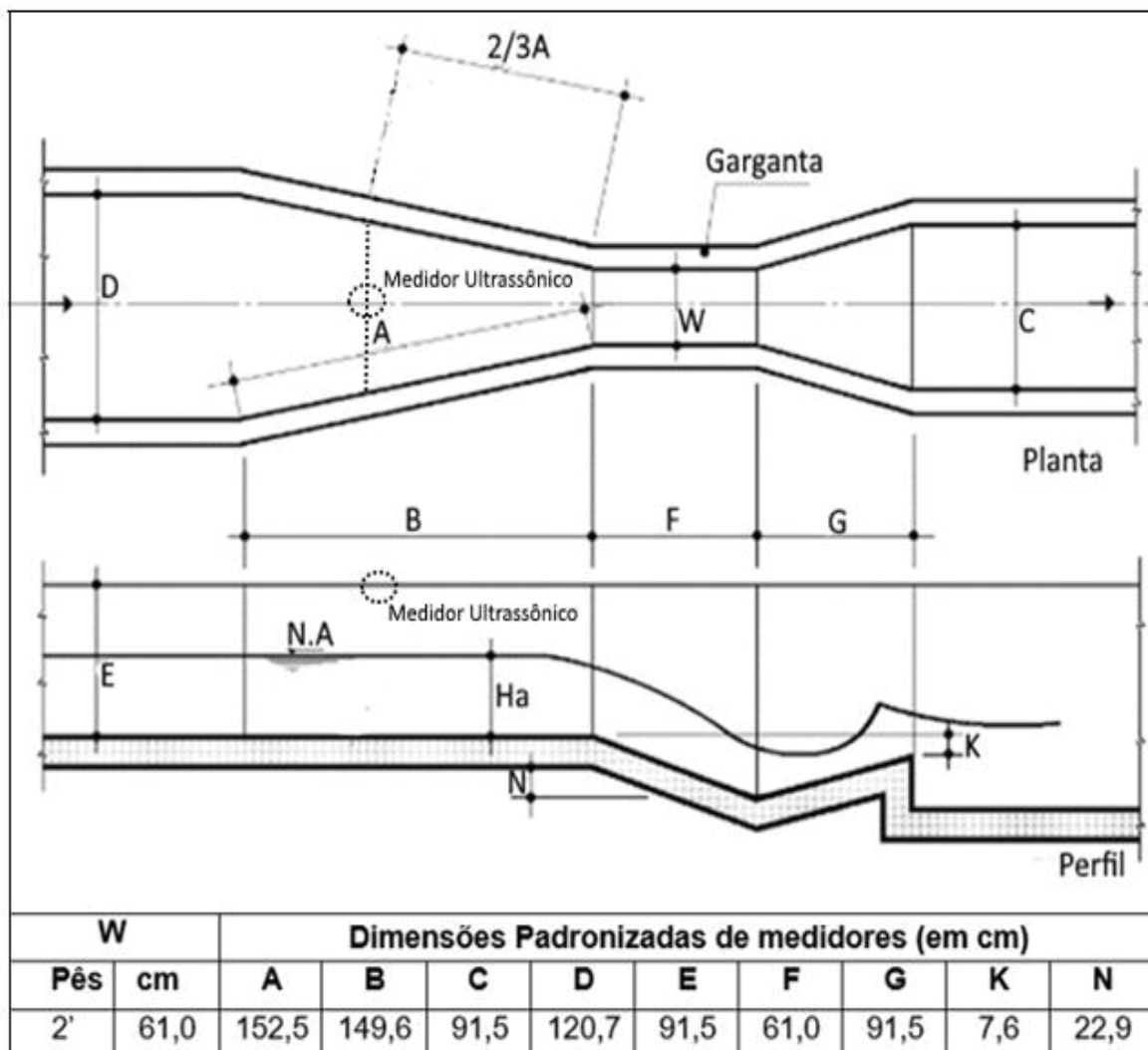
Com os resultados foi possível concluir que as incertezas inerentes às medições de uma amostra realizada em triplicata são muito menores que aquelas associadas com a variação do analito ao longo do dia. Dessa forma, como o trabalho buscou avaliar um comportamento temporal, de hora em hora, ao longo de três dias consecutivos, por cinco meses, a realização da triplicata tornou-se dispensável. Os resultados da comparação entre a análise metrológica e a análise temporal, encontram-se apresentados no Apêndice 2.

### 3.3.2.1 Determinação da vazão de esgoto

Para determinação da vazão de esgoto utilizou-se a calha *Parshall* da própria ETE, a qual foi construída em concreto, e tem como princípio de funcionamento o fato de a água ser forçada por uma garganta relativamente estreita e a vazão a ser mensurada ser indicada pela altura de água a montante da garganta (canal de aproximação). Na FIGURA 20 é apresentado um desenho esquemático da Calha *Parshall* utilizada na ETE, com suas respectivas dimensões, de acordo com a NBR/ISO 9.826/2008.



FIGURA 20 – DESENHO ESQUEMÁTICO DA CALHA PARSHALL DA ETE EM ESTUDO COM SUAS RESPECTIVAS DIMENSÕES



FONTE: AZEVEDO NETTO (1973).

### 3.3.2.2 Análise para determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Para realização das análises de DQO utilizaram-se kits da marca Hach, baseados no método Hach 8000 (*Reactor Digestion Method*), sendo este um método adaptado de Jirka e Carter (1975) e aprovado pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) para águas residuárias.

Os kits utilizados são compostos por tubos de ensaio de vidro de borossilicato com 16 mm de diâmetro, sendo que cada tubo contém uma solução de digestão para DQO, padronizada, pré-dosada e pronta para uso.



Primeiramente, antes da execução das análises, homogeneizaram-se as amostras, visando garantir uma boa distribuição dos sólidos, precisão e reprodutibilidade dos resultados.

Na sequência, o reator foi ligado e programado para aquecer até  $(150 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , concomitantemente, abriu-se o tubo de vidro contendo a solução digestora de DQO e com o auxílio de uma pipeta, adicionou-se o volume de 2 mL de amostra ao tubo. Fechou-se a tampa do tubo firmemente, visando evitar qualquer tipo de evaporação e procedeu-se com a agitação. Para preparo do branco realizou-se o mesmo procedimento, porém com 2 mL de água deionizada no lugar da amostra.

Após a realização do branco colocou-se os tubos no reator aquecido, mantendo-os reagindo por 2 horas, para que ocorresse a completa digestão da matéria orgânica. Após passado o tempo, desligou-se o reator e colocou-se as amostras para esfriar a temperatura ambiente (sem forçar o resfriamento para evitar a formação de precipitado).

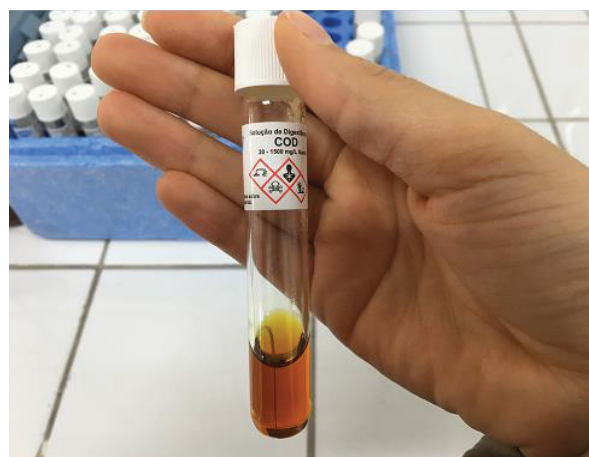
Por fim, zerou-se o espectrofotômetro com o branco e realizou-se a leitura das absorbâncias, sendo que a DQO foi calculada a partir de uma curva de calibração previamente inserida.

Destaca-se, que as curvas de calibração foram inseridas pelo Laboratório de Calibração da Gerência de Avaliação e Conformidade (GACF) da Sanepar a cada 6 meses. Na FIGURA 21 são apresentadas as imagens dos aparatos experimentais utilizados para realização da análise de DQO, com os kits da marca Hach.

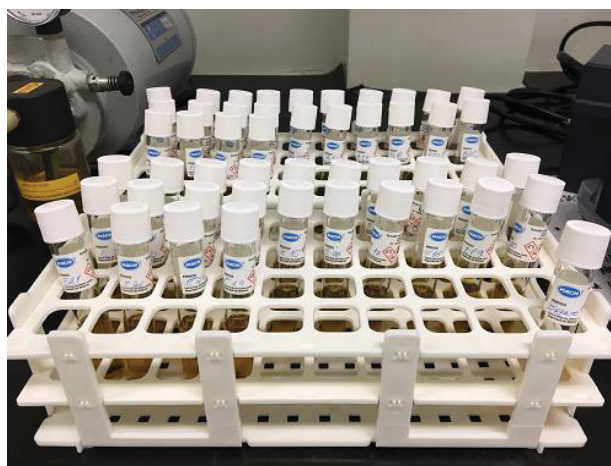
FIGURA 21 – FOTO DO APARATO EXPERIMENTAL UTILIZADO PARA ANÁLISE DE DQO



(A)



(B)



(C)



(D)

Nota: (A) termoreator da marca Merck, modelo TR 420; (B) solução digestora para DQO da marca Hach; (C) tubos contendo a solução digestora e as amostras; (D) espectrofotômetro da marca Hach modelo DR 6000 UV/Vis.

Para análise de DQO filtrada utilizou-se o mesmo procedimento, com kits da marca Hach, baseados no método Hach 8000 (*Reactor Digestion Method*). Contudo, antes da execução das análises, filtrou-se as amostras em papel de microfibras de vidro (espessura entre 400 e 500  $\mu\text{m}$ ).

### 3.3.2.3 Análise para determinação de Nitrogênio Total

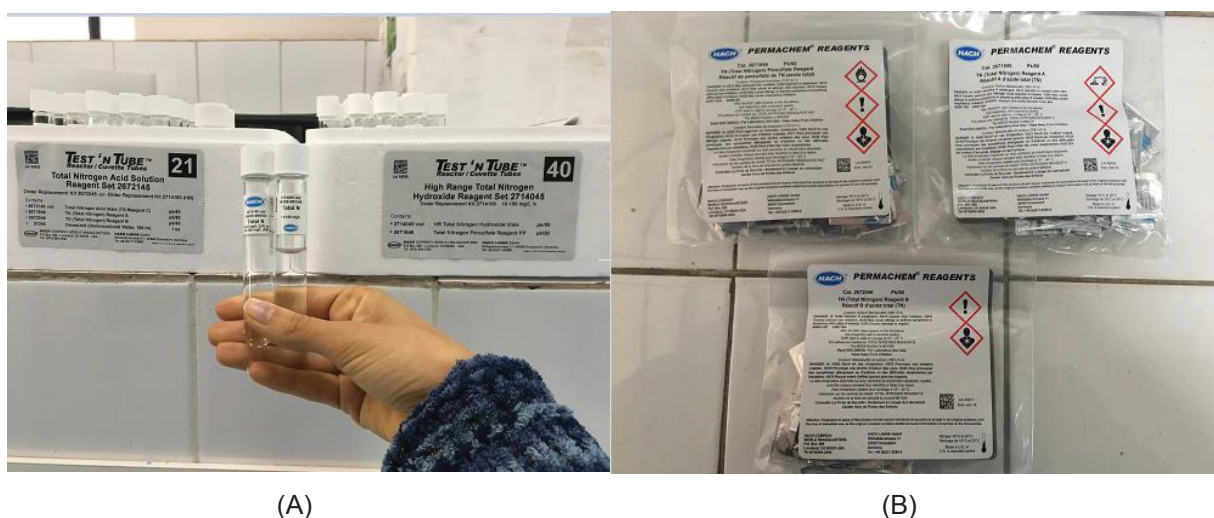
Para determinação do nitrogênio total utilizou-se o método Hach 10072 (*TNT Persulfate Digestion Method*), adaptado do *Standard Methods* e aprovado pela USEPA.

Para tanto, colocou-se o Termoreator da marca Merck, modelo TR 420, para aquecer a temperatura de  $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , e simultaneamente, com o auxílio de um funil adicionou-se o conteúdo de um sachê do reagente *Total Nitrogen Persulfate Reagent Powder Pillow* a um tubo de *Total Nitrogen Hydroxide Digestion Vials*. Na sequência, adicionou-se 0,5 mL de amostra ao tubo contendo os reagentes e procedeu-se com a agitação por aproximadamente 30 segundos. Para preparo do branco utilizou-se o mesmo procedimento, contudo, no lugar da amostra, utilizou-se 0,5 mL de água deionizada. Colocaram-se os tubos no reator pré-aquecido, mantendo-os reagindo por 30 minutos.

Após o período de reação, os tubos foram retirados do reator e colocados para resfriarem a temperatura ambiente. Em seguida, adicionou-se o conteúdo de um *Total Nitrogen Reagent A Powder Pillow* a cada tubo, agitando-os por aproximadamente 15 segundo e colocando-os em repouso por 3 minutos. Depois, adicionou-se um sachê do *Total Nitrogen Reagent B Powder Pillow* a cada tudo, os quais novamente foram agitados e permaneceram reagindo por 2 minutos.

Após o tempo de reação, transferiu-se uma alíquota de 2 mL de cada amostra digerida a tubos de *Total Nitrogen Reagent C Vials*, os quais foram homogeneizados lentamente por inversão e permaneceram reagindo por mais 5 minutos. Por fim, zerou-se o espectrofotômetro com o branco e realizou-se as leituras (curva de calibração previamente inserida pelo Laboratório GACF da Sanepar). Na FIGURA 22 é possível observar os kits utilizados para determinação do nitrogênio total.

FIGURA 22 – FOTO DOS KITS UTILIZADOS PARA ANÁLISE DE NITROGÊNIO TOTAL



Nota: (A) tubo *Hydroxide Digestion* e tubo *Reagent C*; (B) reagentes (*Persulfate Reagent* / *Reagent A* / *Reagent B*)

### 3.3.2.4 Análise para determinação de Nitrogênio Amoniacal

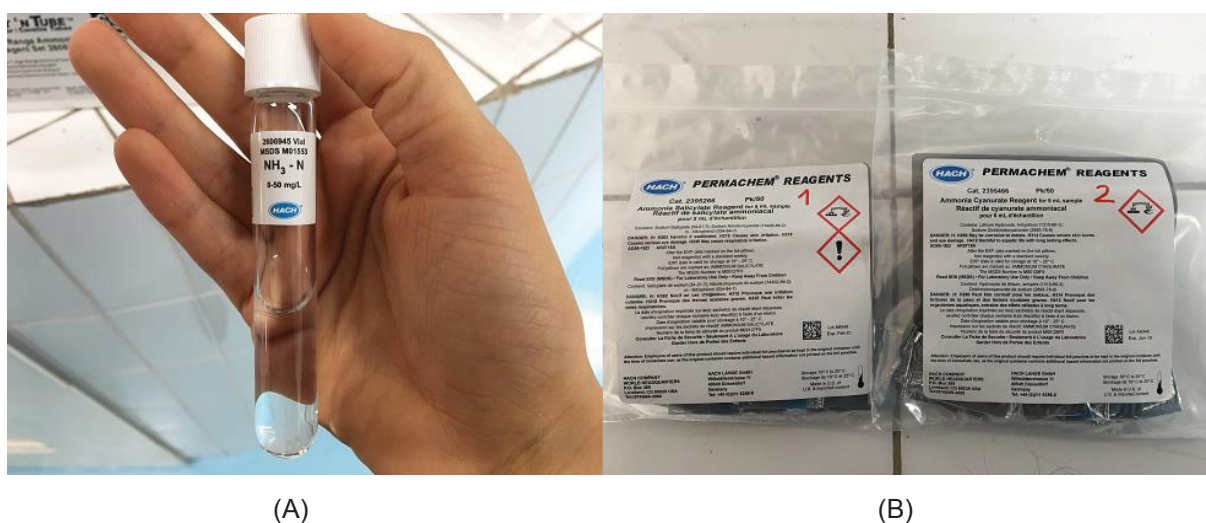
Para determinação do nitrogênio amoniacal utilizou-se o método Hach 10031 (*Salicylate Method*), adaptado do *Standard Methods* para águas residuárias, e aprovado pela USEPA.

Para tal, transferiu-se uma alíquota de 0,1 mL de amostra a um tubo *High Range AmVer Diluent HR Reaget* (para cada bateria de análises realizou-se um branco, utilizando para isto 0,1 mL de água deionizada).

Na sequência, adicionou-se um sachê do reagente *Ammonia Salicylate Reagent Powder Pillot* e um sachê do reagente *Ammonia Cyanurate Reagent Powder Pillot* a cada tubo. Estes foram fechados e agitados, aguardando tempo de reação de 20 minutos, período no qual foi observado o desenvolvimento de uma coloração esverdeada, caracterizando a presença de amônia na amostra.

Por fim, selecionou-se no espectrofotômetro da marca Hach, modelo DR 6000 UV/Vis, a curva para leitura de nitrogênio amoniacal, previamente inserida (as curvas de calibração foram inseridas pelo Laboratório de Calibração da Gerência de Avaliação e Conformidade (GACF) da Sanepar a cada 6 meses). Zerou-se o aparelho com o branco e efetuou-se as leituras. Na FIGURA 23 tem-se ilustrações do kit utilizado para realização da análise de nitrogênio amoniacal.

FIGURA 23 – FOTO DOS KITS UTILIZADOS PARA ANÁLISE DE NITRÔGÊNIO AMONICAL



Nota: (A) tubo *High Range AmVer Diluent Reagent*; reagentes (*Ammonia Salicylate Reagent Powder Pillot* e *Ammonia Cyanurate Reagent Powder Pillot*)



### 3.3.2.5 Análise para determinação de Fósforo Total

Para execução das análises de fósforo total utilizou-se kits da marca Hach, fundamentados no método Azul Fósforo-Molibdênio, o qual é adaptado do *Standard Methods* para águas residuárias, e aprovado pela USEPA.

Primeiramente, colocou-se o Termoreator da marca Merck, modelo TR 420, para aquecer a  $(120 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Em seguida, com o auxílio de uma pipeta adicionou-se 1 mL de amostra e uma dose do reagente P-1K a um tubo de *Total Phosphorus Test'N Tube Vial*. Para o branco utilizou-se a mesma técnica, mas com 1 mL de água deionizada no lugar da amostra. Fechou-se os tubos, agitando-os e colocando-os para reagir no reator pré-aquecido por 30 minutos.

Após a reação, retirou-se os tubos do reator e deixou-os em repouso para esfriarem a temperatura ambiente. Em seguida, adicionou-se 5 gotas do reagente P-2K e uma dose do reagente P-3K aos tubos. Por fim, agitou-se os tubos novamente e deixou-os reagindo por mais 5 minutos.

Com o tempo de reação concluído, zerou-se o espectrofotômetro (marca Hach, modelo DR 6000 UV/Vis) e realizou-se as leituras imediatamente (curva de calibração previamente inserida pelo Laboratório GACF da Sanepar). Na FIGURA 24 são apresentados os aparatos utilizados para análise de fósforo total.

FIGURA 24 – FOTO DOS UTENSÍLIOS UTILIZADOS PARA ANÁLISE DE FÓSFORO TOTAL



Nota: (A) tubo *Total Phosphorus Test'N Tube Vial*; (B) reagentes (P-1K, P-2K e P-3K)

### 3.3.2.6 Análise para determinação de Sulfato

A análise de sulfato foi realizada pelo método Hach 8051 (*SulfaVer 4 Method*), adaptado do *Standard Method* e aceito pela USEPA (equivalente ao procedimento USEPA 375.4).

Inicialmente, preencheu-se um frasco de vidro com 10 mL de amostra e adicionou-se o conteúdo de um *SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillow* ao frasco. Agitou-se o frasco e deixou-o em repouso por 5 minutos (período de reação). Para preparo do branco, utilizou-se o mesmo procedimento, mas com 10 mL de água deionizada no lugar da amostra.

Na sequência, transferiu-se as soluções para uma cubeta, zerou-se o espectrofotômetro (marca Hach, modelo DR 6000 UV/Vis) com o branco e realizou-se as leituras das amostras (curva de calibração previamente inserida pelo Laboratório GACF da Sanepar). Na FIGURA 25 é possível observar o kit utilizado para realização desse experimento.

FIGURA 25 – FOTO DOS KITS UTILIZADOS PARA ANÁLISE DE SULFATO



(A)

(B)

Nota: (A) reagente *SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillow*; (B) frasco utilizado para reação das amostras e cubeta utilizada para leitura.

### 3.3.2.7 Análise para determinação de Metano Dissolvido

A análise de metano dissolvido foi realizada em laboratório externo, localizado na UFMG. O procedimento utilizado para amostragem e análise foi análogo ao

exercido por Souza (2010), sendo uma adaptação das metodologias descritas por Alberto et al. (2000) e Hartley e Lant (2006).

Para coleta do efluente utilizou-se frascos de vidro Vial âmbar de 40 mL com tampas de borracha. Coletou-se aproximadamente 20 mL de efluente, evitando qualquer tipo de turbulência e fechando os frascos imediatamente após o preenchimento.

Como as amostras foram mantidas resfriadas até o momento da análise, ambientou-se os frascos por cerca de 50 minutos à temperatura controlada de 25°C e agitou-os por 10 minutos, com agitadores magnéticos, visando estabelecer o equilíbrio entre a fase líquida e gasosa, dentro da incubadora.

Amostrou-se a fase gasosa presente no frasco e analisou-a por cromatografia a gás, com injeção de 0,5 mL no injetor manual do aparelho, sendo este um cromatógrafo da série GC-2014, marca Shimadzu, capaz de realizar análises tanto com coluna empacotada quanto com capilar. Na FIGURA 26 estão apresentados alguns dos aparatos utilizados para análise de metano dissolvido.

FIGURA 26 – FOTO DOS APARATOS UTILIZADOS PARA ANÁLISE DE METANO DISSOLVIDO



(A)



(B)

Nota: (A) frascos de vidro vial âmbar 40 mL; (B) cromatógrafo GC-2014

Após a análise de cromatografia, para realização dos cálculos pertinentes, pesou-se os frascos e a partir da tara de cada frasco determinou-se a massa de água e, conseqüentemente o volume de líquido ali presente (considerando massa específica da água de 1 g.mL<sup>-1</sup>), com isso, por meio da diferença em relação a capacidade total de 40 mL do frasco, obteve-se o volume da fase gasosa. O cálculo

para determinação da concentração de metano dissolvido foi realizado conforme Equação 8.

$$[\text{CH}_4]_{\text{dissolvido}} = \frac{\frac{[\% \text{CH}_4]_{\text{gás}}}{100} \cdot [d \cdot V_{\text{gás}} + (P_T - P_V) \cdot K_H \cdot V_L]}{V_L} \quad (8),$$

em que:

$[\text{CH}_4]_{\text{dissolvido}}$ : concentração de metano dissolvido em  $\text{mg.L}^{-1}$ ;

$[\% \text{CH}_4]_{\text{gás}}$ : concentração percentual de metano na fase gasosa em %;

$d$ : densidade do metano (calculada como  $595,5 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  e  $0,910 \text{ atm}$  para a cidade de Belo Horizonte, MG);

$V_{\text{gás}}$ : volume da fase gasosa ( $\text{mL}$ );

$P_T$ : pressão atmosférica ( $0,910 \text{ atm}$  para a cidade de Belo Horizonte, MG);

$P_V$ : pressão de vapor de água ( $0,032 \text{ atm}$  a  $25^\circ\text{C}$ );

$K_H$ : constante da Lei de Henry para metano ( $21,5 \text{ mg.L}^{-1}.\text{atm}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ );

$V_L$ : volume da fase líquida ( $\text{mL}$ ).

### 3.3.2.8 Demais análises

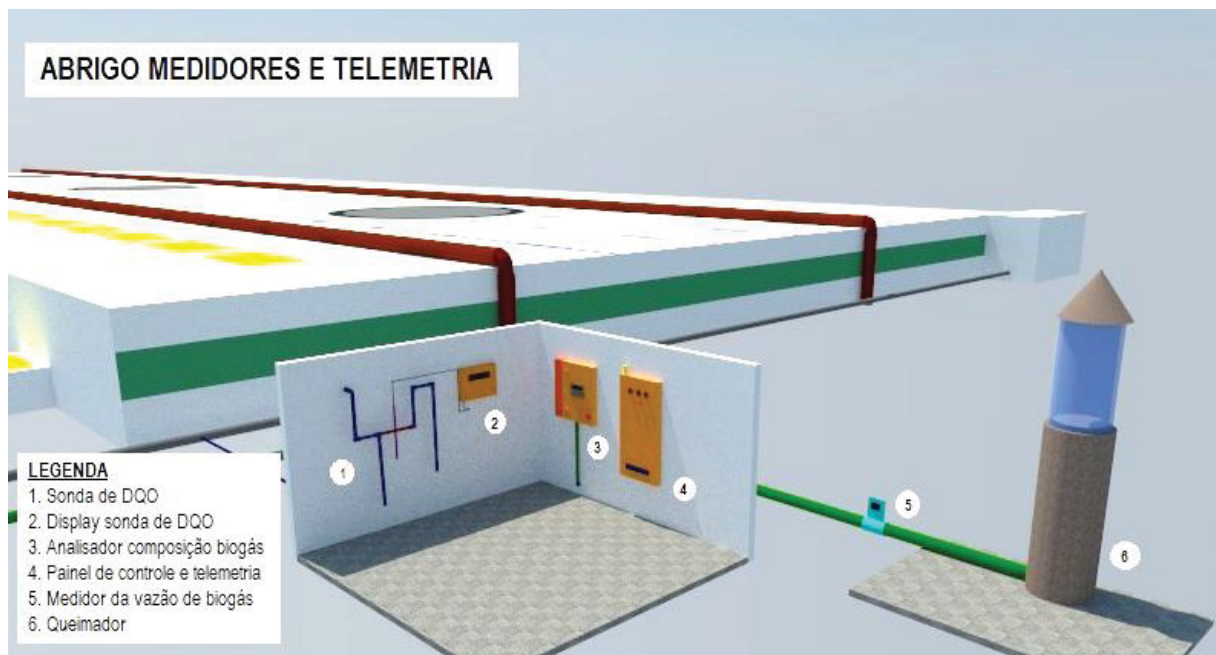
As demais análises realizadas para caracterização da fase líquida (pH, temperatura, acidez, alcalinidade, DBO, SST, SSF, SSV, SSed e Sulfeto) foram executadas em conformidade com o estabelecido no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

### 3.3.3 Amostragem para caracterização da fase gasosa

Para amostragem da fase gasosa, instalou-se na linha de saída do biogás para queima alguns equipamentos, sendo eles medidor de vazão de biogás por dispersão térmica e medidor da qualidade do biogás. Os equipamentos foram instalados por técnicos habilitados da Sanepar. Na FIGURA 27 é possível verificar a localização dos equipamentos na ETE.



FIGURA 27 – DESENHO ESQUEMÁTICO COM A LOCALIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA MENSURAÇÃO DOS PARÂMETROS DA FASE GASOSA



### 3.3.4 Parâmetros avaliados para caracterização da fase gasosa

Os parâmetros mensurados foram vazão de biogás, metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ). O detalhamento dos parâmetros, método de mensuração dos equipamentos e referências utilizadas estão apresentados na TABELA 15.

TABELA 15 – CARACTERÍSTICAS DAS ANÁLISES REALIZADAS PARA CARACTERIZAÇÃO DA FASE GASOSA

Parâmetro	Método de mensuração	Referência
Vazão de biogás ( $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	Dispersão térmica	Thermathel® TA2 Enhanced, Magnetrol
$\text{CH}_4$ (%)	Infravermelho	Multitec® 545 BioControl
$\text{CO}_2$ (%)	Infravermelho	Multitec® 545 BioControl
$\text{O}_2$ (%)	Eletroquímico	Multitec® 545 BioControl
$\text{H}_2\text{S}$ (%)	Eletroquímico	Multitec® 545 BioControl

A quantidade de mensurações de cada parâmetro da fase gasosa, foi determinada de acordo com os objetivos da pesquisa e com as características de cada

equipamento (TABELA 16), sendo que ao final foram calculadas as médias horárias para cada parâmetro.

TABELA 16 – FREQUÊNCIA DE MENSURAÇÃO DOS PARÂMETROS DA FASE GASOSA

Parâmetro	Frequência de medição dos parâmetros
Vazão de biogás ( $\text{Nm}^3.\text{h}^{-1}$ )	A cada 30 segundos
$\text{CH}_4$ (%)	A cada 5 minutos
$\text{CO}_2$ (%)	A cada 5 minutos
$\text{O}_2$ (%)	A cada 5 minutos
$\text{H}_2\text{S}$ (%)	A cada 5 minutos

Como as medições foram realizadas ao longo de três dias consecutivos, durante cinco meses (de julho/2018 a novembro/2018), tem-se 34.560 dados amostrados para vazão de biogás e 4.320 dados amostrados para cada composto do biogás, totalizando 60.480 dados amostrados.

#### 3.3.4.1 Medição da vazão do biogás

Para mensuração da vazão de biogás, o medidor de vazão instalado foi por dispersão térmica, modelo Thermocon® TA2 Enhanced, marca Magnetrol, com faixa de medição de 0,05 a 200  $\text{N.m.s}^{-1}$  e resolução de  $\pm 1\%$  (FIGURA 28).

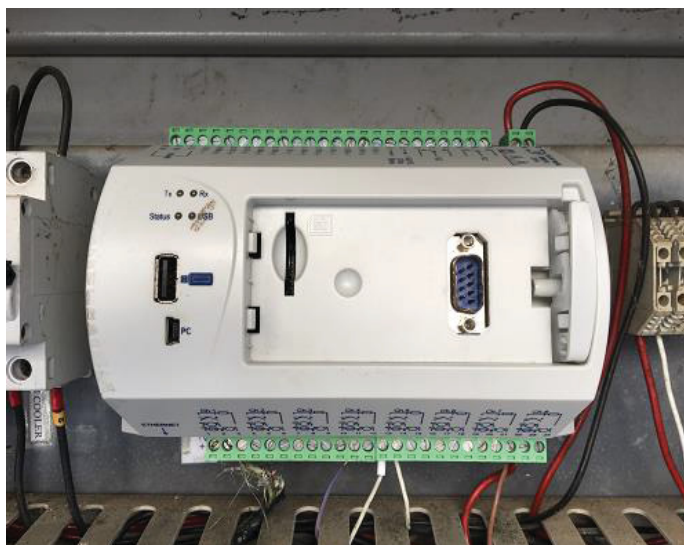
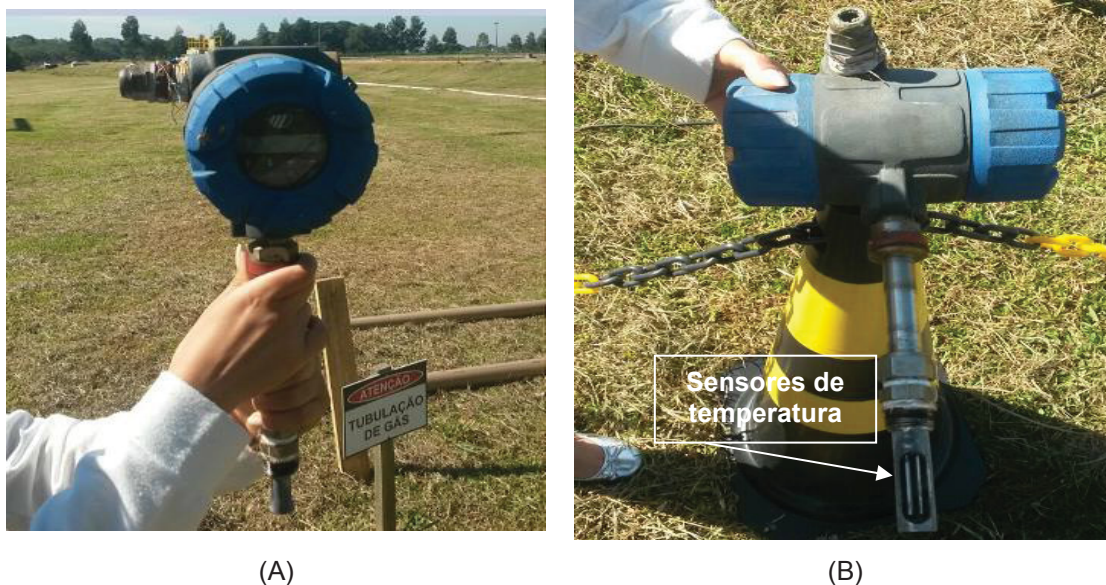
Esse dispositivo possui como vantagem o fato de ser resistente a corrosão, possuir elevada precisão e não conter partes móveis, facilitando assim a locomoção e instalação. Consiste basicamente de um transmissor e uma sonda com sensores de temperatura (RTDs - *Resistance Temperature Detector*) alocados na parte inferior do equipamento.

Destaca-se que o dispositivo possui medidor de pressão e de temperatura, assim, já fornece a vazão normalizada, isto é, o mesmo possui uma curva de calibração que padroniza os valores nas Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP).

Para armazenamento dos dados, o medidor foi conectado a um *datalogger*, o qual foi configurado para memorizar a vazão a cada 30 segundos. Como o *datalogger* possui entrada USB, a coleta de dados foi realizada manualmente via conexão de um

dispositivo compatível com a porta de entrada. Os resultados foram exportados a um *software*.

FIGURA 28 – FOTO DO MEDIDOR DE VAZÃO POR DISPERSÃO TÉRMICA



(C)

Nota: (A) vista frontal do medidor de vazão de biogás por dispersão térmica; (B) sensores de temperatura (RTDs) alocados na parte inferior do medidor; (C) *datalogger*.

#### 3.3.4.2 Determinação da qualidade do biogás

Para avaliação da qualidade do biogás utilizou-se um medidor fixo de gases da marca Sewerin, modelo Multitec 545, denominado BioControl (FIGURA 29). Esse equipamento possui a propriedade de mensurar os principais compostos do biogás, como metano, sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono, e oxigênio. Para medir  $\text{CH}_4$

e CO<sub>2</sub> o dispositivo faz uso do método infravermelho e para aferir o H<sub>2</sub>S e o O<sub>2</sub> utiliza o método eletroquímico. Na TABELA 17 estão apresentadas as faixas de medições e resoluções do equipamento para cada composto.

O medidor utilizado possui a propriedade de reportar os resultados obtidos em seu *display* e memorizá-los na memória interna, podendo transferi-los via conexão USB. Além disso, o equipamento foi conectado a um sistema de telemetria *General Packet Radio Service* (GPRS), sendo que os dados eram transmitidos por um módulo de comunicação a cada 5 minutos e ficavam armazenados em um banco de dados *online* ([www.konvex-scada.com](http://www.konvex-scada.com)).

FIGURA 29 – FOTO DO MEDIDOR DE QUALIDADE DO BIOGÁS



Nota: (A) vista frontal do Biocontrol (Multitec 545); (B) vista lateral do analisador de qualidade do biogás (Multitec 545).

TABELA 17 – FAIXAS DE MEDIÇÃO E RESOLUÇÕES PARA CADA COMPONENTE MENSURADO PELO BIOCONTROL

Parâmetro	Faixa de medição	Resolução
CH <sub>4</sub> (%)	0 – 100% vol.	0,1% vol. (0 – 79,9% vol.) 1% vol. (80 – 100% vol.)
CO <sub>2</sub> (%)	0 – 100% vol.	1% vol.
O <sub>2</sub> (%)	0 – 25% vol.	0,1% vol.
H <sub>2</sub> S (%)	0 – 5000 ppm	1 ppm (0 – 100 ppm) 2 ppm (100 – 998 ppm) 200 ppm (1000 – 5000 ppm)

FONTE: SEWERIN (2018).

### 3.3.5 Processamento e análise dos resultados

Para avaliar as relações entre o biogás produzido e os parâmetros físico-químicos convencionais da fase líquida, utilizou-se gráficos de linha, apresentando as séries temporais, com o intuito de verificar o comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo. Os gráficos foram elaborados com o auxílio do programa estatístico Origin® Pro 8.

Ademais, de modo a relacionar as variáveis da fase gasosa com a fase líquida, realizaram-se análises estatísticas de correlação pelos métodos de Spearman e Kendall Tau - b. Como os dois métodos apresentaram resultados semelhantes, optou-se por apresentar os dados obtidos pelo método de Spearman. Os testes foram realizados no programa estatístico Minitab® 18.

Ressalta-se que esses métodos foram utilizados pelo fato de que a grande maioria dos dados não obedeceram a uma distribuição normal, como pode ser verificado no Apêndice 3, implicando na necessidade do uso de testes não-paramétricos. Além disso, em todos os testes e avaliações, considerou-se o nível de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), o desvio padrão como incerteza de medição e a magnitude dos coeficientes conforme TABELA 18.

TABELA 18 – MAGNITUDE DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN

Magnitude	Interpretação
0,00	Não há correlação
0,00 – 0,19	Muito fraco
0,20 – 0,39	Fraco
0,40 – 0,59	Moderado
0,60 – 0,79	Forte
0,80 – 1,00	Muito forte

FONTE: MCSEVENY et al. (2009).

Para corroborar com os resultados, por conta da quantidade de variáveis envolvidas, foram realizadas análises multivariadas de componentes principais (PCA). Para tanto, também utilizou-se o programa estatístico Minitab® 18.



### 3.4 PROCEDIMENTO PARA DETERMINAR AS RELAÇÕES ENTRE O BIOGÁS E OS PARÂMETROS DA FASE SÓLIDA

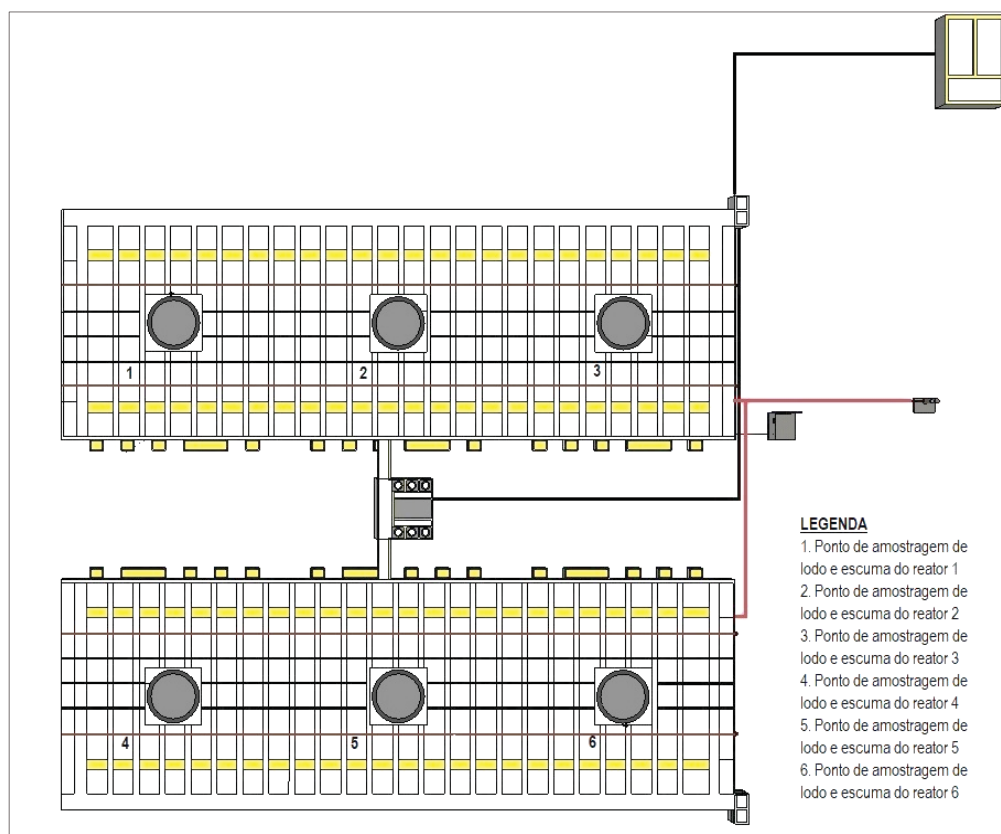
Visando atender ao objetivo específico nº 2 da presente pesquisa, de avaliar as relações entre o biogás produzido e alguns parâmetros físico-químicos do lodo e da espuma, realizaram-se análises físicas e químicas nesses subprodutos, bem como a mensuração do biogás.

#### 3.4.1 Amostragem para caracterização da fase sólida

Para execução das análises de lodo e espuma selecionou-se seis pontos de coleta, visando amostrar a fase sólida em cada um dos reatores, na FIGURA 30 é possível verificar a localizações dos pontos escolhidos para coleta.

Após a coleta pontual em cada reator, realizou-se uma mistura composta para os seis reatores, sendo que esse mesmo procedimento foi executado tanto para lodo quanto para espuma.

FIGURA 30 – DESENHO ESQUEMÁTICO COM A LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DA FASE SÓLIDA



Destaca-se que a ETE conta com remoção regular de lodo e de espuma, a qual é realizada de acordo com o desempenho de cada reator, apoiada na análise de SSed, usualmente, ocorre de 15 em 15 dias.

### 3.4.2 Parâmetros avaliados para caracterização da fase sólida

Os parâmetros analisados para fase sólida foram DQO e série de sólidos. Na TABELA 19 tem-se o detalhamento das análises efetuadas, metodologia analítica, prazo de validade das amostras, preservação das amostras, referências utilizadas e faixas de detecção dos métodos.

TABELA 19 – PARÂMETROS DE ANÁLISE, METODOLOGIA ANALÍTICA E REFERÊNCIA UTILIZADA PARA MONITORAMENTO DA FASE SÓLIDA

Parâmetro	Método de análise	Prazo recomendado para análise	Preservação	Referência	Faixa de detecção
DQO (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>(A)</sup>	Espectrofotométrico	7 dias	Refrigeração (T ≤ 4°C) e acidificação com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH ≤ 2)	Método Hach 8000 - <i>Reactor Digestion Method</i>	20 – 1500 (mg.L <sup>-1</sup> ) e de 200 – 15000 (mg.L <sup>-1</sup> )
ST (%) <sup>(A)</sup>	Gravimétrico	7 dias	Refrigeração (T ≤ 4°C)	APHA (2012) (código 2540)	-
STV (%) <sup>(A)</sup>	Gravimétrico	7 dias	Refrigeração (T ≤ 4°C)	APHA (2012) (código 2540)	-
STF (%) <sup>(A)</sup>	Gravimétrico	7 dias	Refrigeração (T ≤ 4°C)	APHA (2012) (código 2540)	-

Nota: (A): análise realizada tanto para lodo quanto para espuma.

Na FIGURA 31 é possível verificar como foi efetuada a coleta das amostras de lodo e espuma, respectivamente. Para coleta de lodo, utilizou-se um amostrador manual de plástico, fornecido em quatro seções de 1,5 metros, com encaixe tipo parafuso, o qual possui uma trava na ponta, que é ativada quando toca o fundo do reator. Para coleta de espuma, utilizou-se colheres de aço.

FIGURA 31 – FOTO DO PROCEDIMENTO DE COLETA DE LODO E ESCUMA



Nota: (A) Coleta de lodo com o amostrador; (B) amostragem manual de espuma

As análises para cada parâmetro foram realizadas 3 vezes ao dia, em 3 dias consecutivos de uma semana, às 8h, 12h e 16h semana (segunda-feira, terça-feira e quarta-feira), sendo que esse procedimento foi repetido ao longo de cinco meses (julho de 2018 a novembro de 2018). Como foram realizadas 5 campanhas de monitoramento, totalizou-se 45 dados amostrados para cada um dos parâmetros de lodo e espuma, correspondendo a um total de 360 dados gerados.

#### 3.4.2.1 Análise para determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Para análise de DQO da fase sólida foi empregue a mesma metodologia e o mesmo aparato experimental utilizado para análise de DQO da fase líquida, com kits da marca Hach, baseados no método Hach 8000 (*Reactor Digestion Method*). Contudo, antes da execução das análises, realizou-se diluições das amostras visando atingir o limite de detecção do kit utilizado.

Para tanto, efetuou-se diluições em massa (m/m), assim, pesou-se aproximadamente 2 g de lodo/espuma e avolumou-se com água de osmose reversa até 200 g, isto é, 2 g de amostra e 198 g de água. Após isso, a amostra diluída foi colocada para homogeneização e o procedimento normal de DQO para amostras líquidas foi realizado.



### 3.4.2.2 Demais análises

As demais análises realizadas para caracterização da fase sólida (ST, STF e STV) foram efetuadas de acordo com o estabelecido no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

### 3.4.3 Processamento e análise dos resultados

Para avaliar as relações entre o biogás produzido e alguns parâmetros físico-químicos do lodo e da espuma, o processamento e a análise dos resultados foram os mesmos utilizados para determinar as relações com os parâmetros da fase líquida. Isto é, utilizou-se gráficos de linha, apresentando as séries temporais, com o intuito de verificar o comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo. Os gráficos foram elaborados com o auxílio do programa estatístico Origin<sup>®</sup> Pro 8.

Ademais, de modo a relacionar as variáveis da fase gasosa com a fase líquida, realizou-se análises estatísticas de correlação pelos métodos de Spearman e Kendall Tau - b. Como os dois métodos apresentaram resultados semelhantes, optou-se por apresentar os dados obtidos pelo método de Spearman. Os testes foram realizados no programa estatístico Minitab<sup>®</sup> 18.

Ressalta-se que, esses métodos foram utilizados pelo fato de que a grande maioria dos dados não obedeceram a uma distribuição normal, como pode ser verificado no Apêndice 3, implicando na necessidade do uso de testes não-paramétricos. Além disso, em todos os testes e avaliações, considerou-se o nível de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), o desvio padrão como incerteza de medição e a magnitude dos coeficientes conforme TABELA 18.

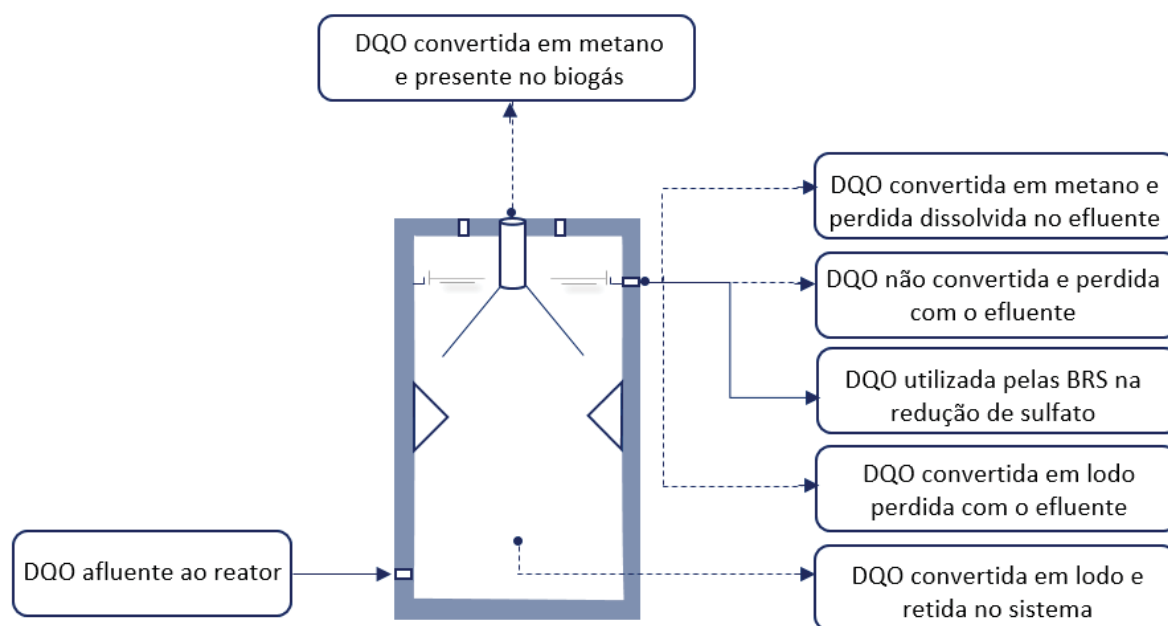
Para atendimento desse objetivo, não foi realizada análise multivariada de PCA, visto que foram mensurados apenas os parâmetros de DQO e sólidos.

## 3.5 PROCEDIMENTO PARA DETERMINAR O BALANÇO DE MASSA EM TERMOS DE DQO

Para desenvolvimento do balanço de massa em termos de DQO foram consideradas todas as parcelas possivelmente mensuráveis de conversão da matéria orgânica dentro dos reatores, sendo elas: DQO afluente, DQO convertida em metano

e presente no biogás, DQO convertida em metano e perda dissolvida no efluente, DQO não convertida e perda com efluente, DQO utilizada pelas BRS na redução do sulfato, DQO convertida em lodo e retida no sistema e DQO convertida em lodo e perda com o efluente, conforme demonstra a FIGURA 32.

FIGURA 32 – REPRESENTAÇÃO DAS PARCELAS DE CONVERSÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA CALCULADAS NO BALANÇO DE MASSA



FONTE: SOUZA (2010).

### 3.5.1 Parâmetros avaliados para o balaço de massa em termos de DQO

Com as análises físicas e químicas realizadas para determinar as relações entre o biogás e os parâmetros da fase líquida e gasosa, obteve-se dados para determinação do balanço de massa em termos de DQO, para o conjunto dos seis reatores anaeróbios do tipo UASB presentes na ETE.

As análises utilizadas para o balanço foram: DQO afluyente, DQO efluente, DQO efluente filtrada, sulfato afluyente, sulfato efluente, STV no lodo e metano dissolvido. Além disso, utilizou-se também os dados obtidos pelos equipamentos, como vazão de biogás e percentual de metano.

### 3.5.2 Equacionamento do balanço de massa em termos de DQO

As formulações utilizadas para desenvolvimento do balanço de massa em termos de DQO foram estabelecidas por Souza (2010), sendo que alguns fatores foram adaptados de acordo com as características da ETE objeto de estudo. Isso posto, o cálculo da massa diária de DQO afluyente ao reator foi realizado a partir da Equação 9.

$$DQO_{\text{afluyente total}} = Q_L \times DQO_{\text{afluyente}} \times 0,0864 \quad (9),$$

em que:

$DQO_{\text{afluyente total}}$ : massa diária de DQO afluyente ao reator ( $\text{kgDQO.d}^{-1}$ );

$Q_L$ : vazão de esgoto ( $\text{L.s}^{-1}$ );

$DQO_{\text{afluyente}}$ : concentração de matéria orgânica afluyente ao reator ( $\text{mg.L}^{-1}$ );

0,0864: fator para conversão de unidades.

Para cálculo da massa diária de DQO convertida em metano e presente no biogás, empregou-se a Equação 10.

$$DQO_{\text{CH}_4 \text{ biogás}} = Q_{\text{biogás}} \times \text{CH}_{4\text{biogás}} \times 2,276 \times 86,4 \quad (10),$$

em que:

$DQO_{\text{CH}_4 \text{ biogás}}$ : massa diária de DQO convertida em metano e presente no biogás ( $\text{kgDQO.d}^{-1}$ );

$Q_{\text{biogás}}$ : vazão de biogás ( $\text{N.L.s}^{-1}$ );

$\text{CH}_{4\text{biogás}}$ : concentração percentual de metano presente no biogás (%);

2,276  $\text{gDQO.LCH}_4^{-1}$  a 25 °C e 0,87 atm: coeficiente estequiométrico;

86,4: fator para conversão de unidades.

Considerando a temperatura ambiente de 25 °C e que o experimento e as medições foram realizados no Município de Curitiba/PR, onde a pressão atmosférica é de 0,87 atm, utilizou-se a Equação de Clapeyron para determinar a densidade do metano, obtendo valor de 0,569 g/L.

Com a densidade e a relação de conversão de DQO em CH<sub>4</sub> de 4:1, obteve-se o coeficiente estequiométrico de 2,276 g DQO.LCH<sub>4</sub><sup>-1</sup>. A massa diária de DQO convertida em metano e dissolvida no efluente foi determinada por meio da Equação 11.

$$DQO_{CH_4 \text{ dissolvido}} = (Q_L \times CH_{4 \text{ dissolvido}} \times 4) \times 0,0864 \quad (11),$$

em que:

DQO<sub>CH<sub>4</sub> dissolvido</sub>: massa diária de DQO convertida em metano e dissolvida no efluente (kgDQO.d<sup>-1</sup>);

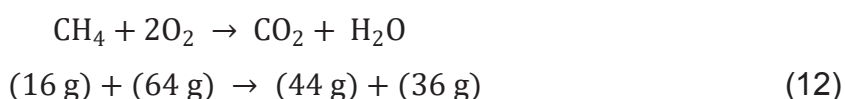
Q<sub>L</sub>: vazão de esgoto (L.s<sup>-1</sup>);

CH<sub>4</sub><sub>dissolvido</sub>: concentração de metano dissolvido no efluente (mg.L<sup>-1</sup>);

4 mgDQO.mgCH<sub>4</sub><sup>-1</sup>: coeficiente estequiométrico;

0,0864: fator para conversão de unidades.

O coeficiente estequiométrico utilizado, foi calculado com base na massa de DQO degradada para produção de metano, onde um mol de CH<sub>4</sub> necessita de dois mols de O<sub>2</sub> para sua completa oxidação em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, isto é, cada 16 gramas de CH<sub>4</sub> produzido correspondem à remoção de 64 gramas de O<sub>2</sub> do esgoto (Equação 12) (SOUZA, 2010).



Para cálculo da massa diária de DQO não convertida e perdida com o efluente, foi utilizada a Equação 13.

$$DQO_{\text{efluente solúvel}} = Q_L \times DQO_{\text{efluente filtrada}} \times 0,0864 \quad (13),$$

em que:

DQO<sub>efluente solúvel</sub>: massa diária de DQO não convertida (kgDQO.d<sup>-1</sup>);

Q<sub>L</sub>: vazão de esgoto (L.s<sup>-1</sup>);

DQO<sub>efluente filtrada</sub>: concentração de matéria orgânica efluente filtrada (mg.L<sup>-1</sup>).

0,0864: fator para conversão de unidades.

Considerando ainda a utilização da DQO pelas BRS na redução de sulfato, a massa diária de DQO consumida para este fim, foi determinada conforme Equação 14.

$$DQO_{\text{sulfato redução}} = \{Q_L \times [(SO_{4_1} - SO_{4_2}) \times \left(\frac{1}{1,5}\right)] \times 0,0864 \quad (14),$$

em que:

$DQO_{\text{sulfato redução}}$ : massa diária de DQO utilizada para redução de sulfato (kgDQO.d<sup>-1</sup>);

$Q_L$ : vazão de esgoto (L.s<sup>-1</sup>).

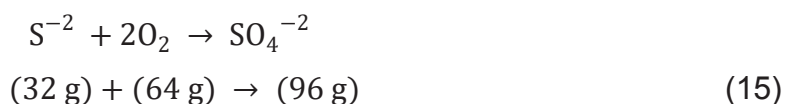
$SO_{4_1}$ : concentração de sulfato afluente ao reator (mg.L<sup>-1</sup>);

$SO_{4_2}$ : concentração de sulfato efluente ao reator (mg.L<sup>-1</sup>);

1 g DQO. 1,5 g  $SO_4^{-1}$ : coeficiente estequiométrico;

0,0864: fator para conversão de unidades.

Calculou-se o coeficiente estequiométrico utilizado com base na massa de DQO degradada para redução de sulfato, onde um mol de  $S^{-2}$  necessita de dois mols de  $O_2$  para sua completa oxidação em  $SO_4^{-2}$ , ou seja, cada 96 gramas de  $SO_4^{-2}$  presente no esgoto correspondem ao consumo de 64 gramas de DQO removida (relação 1,5  $SO_4^{-2}$ : 1,0 DQO) (Equação 15) (SOUZA, 2010).



A aplicação da Equação 16 foi utilizada para determinar a DQO convertida em lodo e retida no sistema.

$$DQO_{\text{lodo retido}} = \left[ \frac{(massa_{STV_{t2}} - massa_{STV_{t1}})}{t_2 - t_1} \right] \times 4,60 \quad (16),$$

em que:

$DQO_{\text{lodo retido}}$ : massa diária de DQO convertida em lodo e retida (kgDQO.d<sup>-1</sup>);

$Massa_{STV_{t1}}$ : massa de sólidos totais voláteis no lodo no tempo 1 (kg STV);

$Massa_{STV_{t2}}$ : massa de sólidos totais voláteis no tempo 2 (kg STV);

$t_1$ : tempo 1 (d);

t<sub>2</sub>: tempo 2 (d);

4,60 gDQO.gSTV<sup>-1</sup>: coeficiente calculado com base nos dados de DQO e STV da própria ETE.

A DQO convertida em lodo e perdida junto ao efluente, foi determinada por meio da Equação 17.

$$DQO_{\text{lodo efluente}} = Q_L \times (DQO_{\text{efluente total}} - DQO_{\text{efluente filtrada}}) \times 0,0864 \quad (17),$$

em que:

DQO<sub>lodo efluente</sub>: massa diária de DQO convertida em lodo e perdida com o efluente (kgDQO.d<sup>-1</sup>);

Q<sub>L</sub>: vazão de esgoto (L.s<sup>-1</sup>);

DQO<sub>efluente total</sub>: concentração de matéria orgânica efluente ao reator (mg.L<sup>-1</sup>);

DQO<sub>efluente filtrada</sub>: concentração de matéria orgânica efluente filtrada (mg.L<sup>-1</sup>).

0,0864: fator para conversão de unidades.

### 3.5.3 Processamento e análise dos resultados

Para avaliação geral do balanço de massa, utilizou-se gráficos do tipo boxplot, com o intuito de apresentar uma estatística descritiva dos resultados obtidos ao longo dos cinco meses, ressaltando dados discrepantes (*outliers*), medianas, máximos, mínimos e quartis. Além disso, também foram utilizados gráficos de barras para exemplificar o percentual de cada parcela obtida para o balanço de massa. Em todos os testes e avaliações, considerou-se o nível de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), o desvio padrão como incerteza de medição.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das análises físico-químicas e dos equipamentos de medições de biogás, utilizados para o desenvolvimento desta Dissertação, referente aos meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro estão apresentados nos Apêndices 4, 5, 6, 7 e 8, respectivamente.

### 4.1 AVALIAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE O BIOGÁS PRODUZIDO E OS DIVERSOS PARÂMETROS DA FASE LÍQUIDA

Neste subcapítulo são apresentadas as estatísticas descritivas do biogás e de diversos parâmetros da fase líquida, bem como os gráficos contendo o comportamento temporal de tais parâmetros. Na sequência, apresentam-se as correlações entre as variáveis da fase líquida e aquelas da fase gasosa, avaliando-se quais os principais parâmetros que interferem na produção do biogás e do metano. Destaca-se que em julho houve falha na mensuração da vazão de biogás e do dia 17 para o dia 18 de setembro houve queda de energia na ETE, das 19h50min até às 04h30min.

#### 4.1.1 Caracterização e comportamento do biogás

A vazão média de biogás produzido no período avaliado foi de  $(12,05 \pm 6,17) \text{ N.L.s}^{-1}$ , com máxima de  $29,33 \text{ N.L.s}^{-1}$  e mínima de  $2,07 \text{ N.L.s}^{-1}$ . De modo geral, evidencia-se que a vazão de biogás descreveu curvas padrão com intervalo de aproximadamente 1 dia, tendo vazões máximas e mínimas, apresentando comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário, conforme estabelece Possetti et al. (2013) e Duarte et al. (2018).

Quanto à vazão de metano, é perceptível que o comportamento foi semelhante ao da vazão de biogás, com média de  $(10,00 \pm 5,26) \text{ N.L.s}^{-1}$ , máxima de  $24,54 \text{ N.L.s}^{-1}$  e mínima de  $1,70 \text{ N.L.s}^{-1}$ . Destaca-se, que no mês de novembro, as vazões obtidas foram superiores quando comparadas com os meses anteriores, tendo em vista que nos quatro primeiros meses as tubulações apresentaram problemas de vazamento.



O comportamento da vazão de biogás e vazão de metano pode ser observado em todas as figuras de avaliação temporal, que na sequência são apresentadas. Além disso, na TABELA 20 estão expostas as estatísticas descritivas desses parâmetros.

TABELA 20 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE VAZÃO DE BIOGÁS E DE METANO

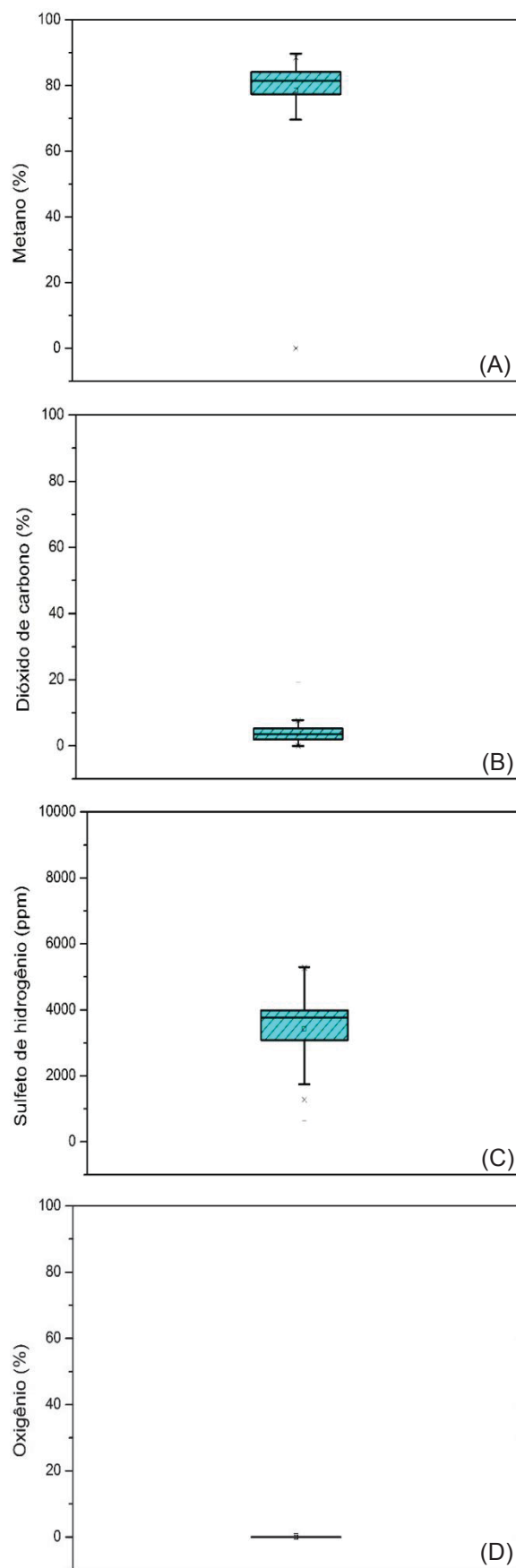
<b>Parâmetros</b>	<b>Vazão de biogás (N.L.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Vazão de metano (N.L.s<sup>-1</sup>)</b>
<b>Média</b>	12,05	10,00
<b>Mediana</b>	10,59	8,60
<b>Desvio padrão</b>	6,17	5,26
<b>Máximo</b>	29,33	24,54
<b>Mínimo</b>	2,07	1,70
<b>Número de dados amostrados</b>	34.560	34.560

Referente à composição do biogás, observa-se nos gráficos boxplot (FIGURA 33) que os valores não apresentaram variações elevadas, com exceção do H<sub>2</sub>S, o qual apresenta maior variação como reportado na literatura (LOBATO, 2011; CABRAL, 2016), sendo necessário sua remoção, em maior ou menor proporção, dependendo da aplicação energética.

Segundo Noyola, Morgan-Sagastume, López-Hernández (2006) e Silva, Possetti, Coelho (2014), o biogás oriundo do tratamento do esgoto doméstico, normalmente apresenta em sua composição entre 60 e 85% de CH<sub>4</sub>, de 5 a 15% de CO<sub>2</sub>, de 1000 a 5000 ppm de H<sub>2</sub>S e entre 0 e 2% de O<sub>2</sub>. Nesse sentido, a composição do biogás produzido na ETE apresentou valores dentro das faixas reportadas na literatura.

Além disso, cabe destacar que a soma média dos componentes presente no biogás totalizou 85,46%, assim, 14,54% corresponde a outros compostos não mensurados, possivelmente o nitrogênio em maiores concentrações (NOYOLA; MORGAN-SAGASTUME; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, 2006).

FIGURA 33 – GRÁFICOS BOXPLOT DAS CONCENTRAÇÕES PERCENTUAIS DE CH<sub>4</sub> (A), CO<sub>2</sub> (B), H<sub>2</sub>S (C) E O<sub>2</sub> (D) PRESENTES NO BIOGÁS.



#### 4.1.2 Correlações entre produção de biogás e acidez e alcalinidade do esgoto

Na TABELA 21 apresentam-se as estatísticas descritivas dos dados de acidez e na TABELA 22 dos dados de alcalinidade, ambas para o esgoto afluente e efluente da ETE.

Avaliando-se os resultados almejados, nota-se que a alcalinidade efluente foi superior a afluente, como já esperado, provavelmente, por conta da liberação de cátions geradores de alcalinidade, oriundos da degradação de proteínas, e pelo sódio, originado da degradação de sabões (CAMPOS et al., 2004).

Além disso, a relação alcalinidade/acidez foi em média igual a  $(6,94 \pm 6,01)$ , isto é, superior a 4, o que indica boa operação e funcionamento do sistema, conforme estabelecido por McCarty (1974) e Foresti et al. (1999).

TABELA 21 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE ACIDEZ

Parâmetros	Acidez afluente (mg.L <sup>-1</sup> )	Acidez efluente (mg.L <sup>-1</sup> )
<b>Média</b>	49,46	61,73
<b>Mediana</b>	52,00	72,00
<b>Desvio padrão</b>	19,41	29,25
<b>Máximo</b>	90,00	116,00
<b>Mínimo</b>	4,00	3,33
<b>Número de amostras</b>	45	360

TABELA 22 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE ALCALINIDADE

Parâmetros	Alcalinidade afluente (mg.L <sup>-1</sup> )	Alcalinidade efluente (mg.L <sup>-1</sup> )
<b>Média</b>	269,01	324,47
<b>Mediana</b>	264,86	340,79
<b>Desvio padrão</b>	75,65	62,10
<b>Máximo</b>	417,30	436,80
<b>Mínimo</b>	100,40	172,69
<b>Número de amostras</b>	45	360

Quanto ao comportamento, na FIGURA 34 é possível verificar o da acidez e alcalinidade do esgoto afluente para os cinco meses de monitoramento (julho de 2018 a novembro de 2018), bem como o da produção de biogás e de metano. Já na

FIGURA 35 estão expressos os comportamentos dos mesmos parâmetros, mas para o esgoto efluente.

Nota-se que a acidez e alcalinidade, tanto para o esgoto afluente quanto para o esgoto efluente, seguiram comportamento temporal variável e não estacionário. Contudo, não foi possível afirmar a ocorrência de um comportamento periódico ao longo dos cinco meses de monitoramento.

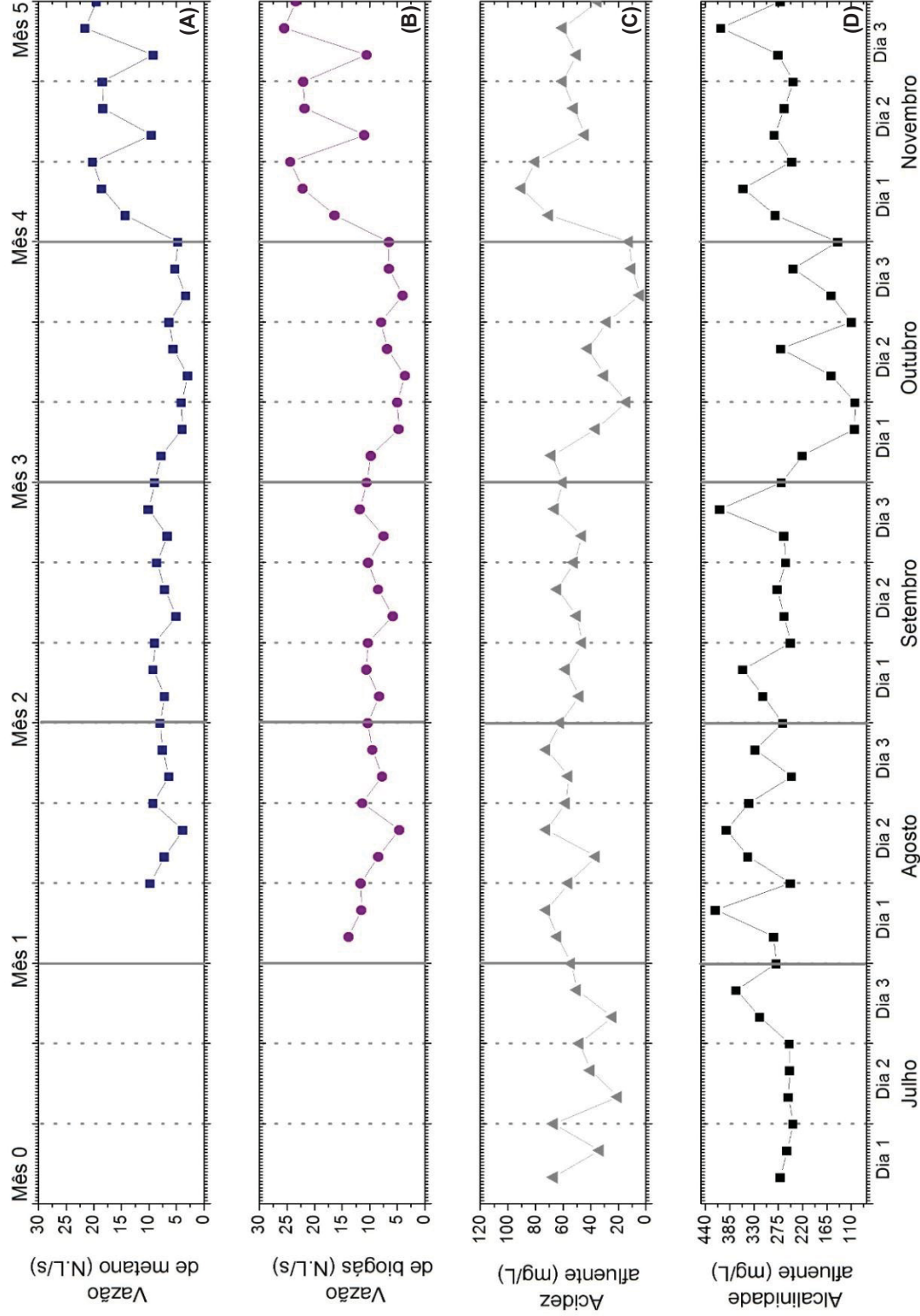
Referente às correlações entre o biogás produzido e a acidez e alcalinidade do esgoto, os coeficientes de Spearman ( $\rho$ ) para acidez afluente e efluente, alcalinidade afluente e efluente, foram de 0,561, 0,513, 0,450 e 0,553, de modo respectivo, indicando correlações positivas, ou seja, quando a vazão de biogás aumenta ou diminui, a acidez e alcalinidade, do esgoto afluente e efluente, aumenta ou diminui simultaneamente, a uma taxa constante. Os coeficientes indicam que a relação entre as variáveis é moderada.

Ademais, os coeficientes de Spearman para as quatro variáveis (acidez afluente, acidez efluente, alcalinidade afluente e alcalinidade efluente) correlacionadas com a vazão de metano foram de 0,536, 0,523, 0,456 e 0,567, respectivamente, indicando que também há correlações positivas moderadas entre esses parâmetros da fase gasosa e líquida.

Como a alcalinidade serve como tampão no sistema de tratamento de esgoto, evita a ocorrência de variações bruscas no pH, favorecendo a ação das arqueas metanogênicas, justificando-se assim, as correlações positivas obtidas entre a alcalinidade e a produção de biogás e de metano (MCCARTY, 1974; FORESTI et al., 1999).

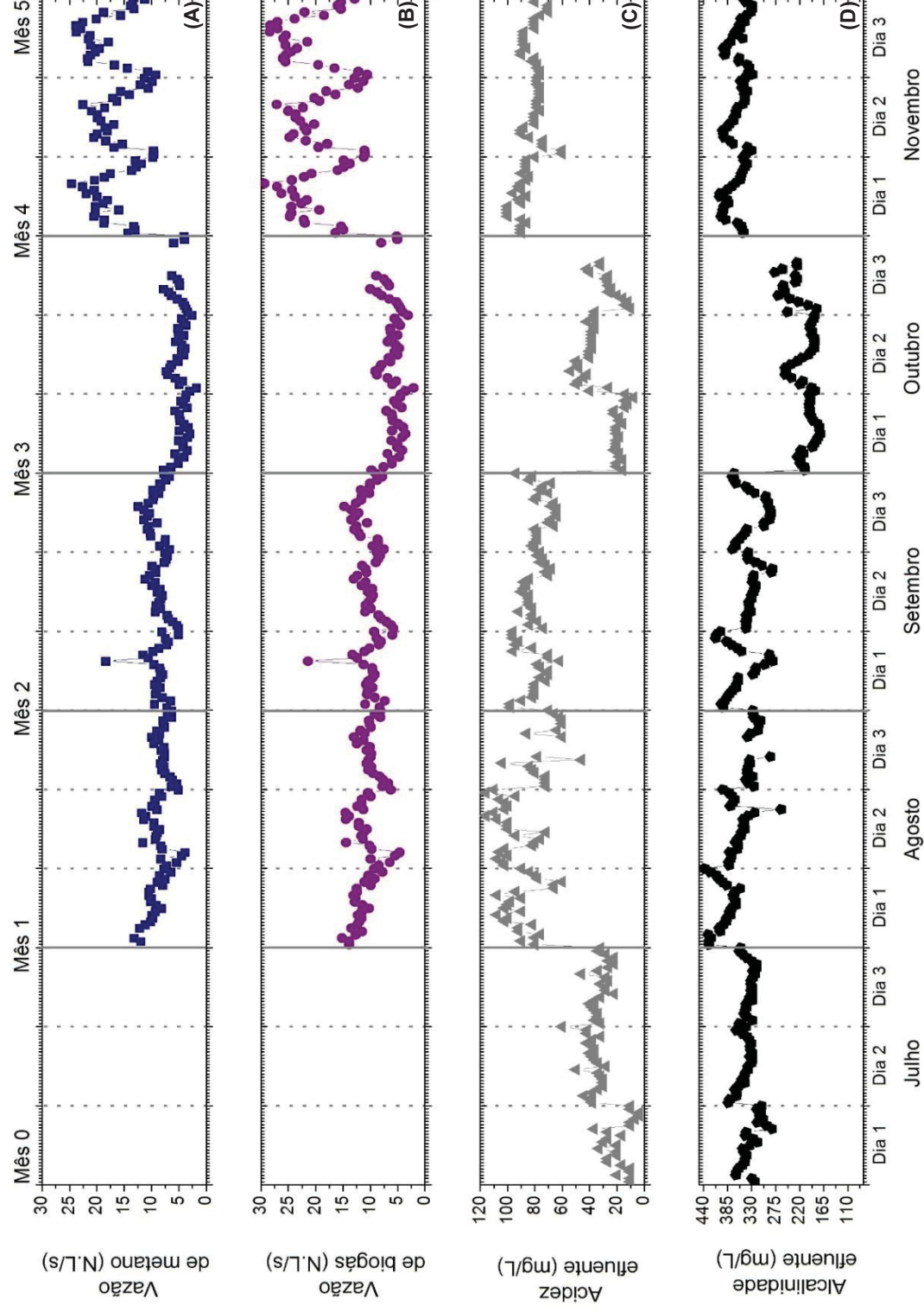
Já com relação as correlações positivas obtidas entre produção de biogás e de metano e a acidez do esgoto, as mesmas destoam do citado por McCarty (1974) e Foresti et al. (199), os quais afirmam que um aumento da acidez, indica maior ação das bactérias acidogênicas e maior produção de AGV, podendo ocasionar acidificação do reator e inibição das arqueas metanogênicas, diminuindo-se assim, a produção de biogás e de metano.

FIGURA 34 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), ACIDEZ DO ESGOTO AFLUENTE (C) E ALCALINIDADE DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

FIGURA 35 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B) ACIDEZ DO ESGOTO EFLUENTE (C) E ALCALINIDADE DO ESGOTO EFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

#### 4.1.3 Correlações entre produção de biogás e pH e temperatura do esgoto

A faixa de pH obtida para o esgoto afluente foi de 7,05 a 8,31 e para o esgoto efluente foi de 6,14 a 7,72. Esses valores de efluente estão próximos da faixa de 6,8 a 7,2 indicada por Chernicharo (2011) como característico para reatores anaeróbios, e também atendem aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011, para lançamento de efluentes, que prevê uma amplitude de 5 a 9. Na TABELA 23 tem-se as estatísticas descritivas dos resultados de pH.

TABELA 23 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE PH

<b>Parâmetros</b>	<b>pH afluente</b>	<b>pH efluente</b>
<b>Média</b>	7,55	7,03
<b>Mediana</b>	7,59	6,94
<b>Desvio padrão</b>	0,33	0,29
<b>Máximo</b>	8,31	7,72
<b>Mínimo</b>	7,05	6,14
<b>Número de amostras</b>	45	45

Ao analisar a FIGURA 36, percebe-se que o pH afluente segue comportamento semelhante ao observado para vazão de biogás e vazão de metano, assim como identificado por Possetti et al. (2013) por meio de medições realizadas em escala real.

O comportamento do pH efluente (FIGURA 36), demonstrou-se quase estacionário em determinados instantes, apresentando pequena amplitude. Além do que, não foi possível afirmar que essa variável possui periodicidade.

Quanto às correlações, o coeficiente de Spearman entre vazão de biogás e pH afluente foi de -0,271 e entre vazão de metano e pH afluente foi de -0,293. Os valores de  $p$  obtidos (0,110 e 0,093) foram maiores que o nível de significância de 0,05, indicando que há evidências inconclusivas sobre a significância da associação entre as variáveis.

Contudo, mesmo obtendo-se coeficientes de correlação não significativos para o pH afluente, destaca-se que baixos valores de pH indicam o aumento das bactérias acidogênicas e, portanto, o aumento na produção de ácidos graxos voláteis (AGV), o que pode ocasionar a inibição das arqueas metanogênicas. Dessa forma, quanto



menor o pH afluente (valores inferiores a 6,2), menor deverá ser a produção de biogás (MCCARTY, 1974; FORESTI et al., 1999; CAMPOS et al., 2006; PEREIRA; CAMPOS; MONTERANI, 2009).

Para o pH efluente e a vazão de biogás, o coeficiente de correlação de Spearman foi de -0,386, sugerindo correlação fraca e inversamente proporcional. O mesmo coeficiente entre vazão de metano e pH efluente foi de -0,400, indicando correlação moderada e inversamente proporcional.

Concernente a temperatura do esgoto, durante o período de monitoramento foram observadas algumas variações, sendo que a temperatura afluente atingiu máxima de 23,50 °C e mínima de 16,30 °C, mantendo-se com média de  $(20,88 \pm 1,72)$  °C. A temperatura efluente, atingiu máxima de 23,80 °C e mínima de 14,80 °C, permanecendo com média de  $(20,91 \pm 1,92)$  °C. As estatísticas descritivas dos dados de temperatura estão apresentadas na TABELA 24.

TABELA 24 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE TEMPERATURA

Parâmetros	Temperatura afluente (°C)	Temperatura efluente (°C)
<b>Média</b>	20,88	20,91
<b>Mediana</b>	20,90	20,90
<b>Desvio padrão</b>	1,72	1,92
<b>Máximo</b>	23,50	23,80
<b>Mínimo</b>	16,30	14,80
<b>Número de amostras</b>	45	45

Como pode ser verificado na FIGURA 37, tanto o comportamento da temperatura afluente quanto o da efluente, são semelhantes ao da produção de biogás e de metano. Contudo com menores variações e amplitudes.

Referente às correlações, os coeficientes de Spearman indicam que existem correlações positivas moderadas entre a vazão de biogás e as duas variáveis (temperatura afluente e temperatura efluente), sendo que os valores de  $p$  foram de 0,534 e 0,535, respectivamente.

Para vazão de metano correlacionada com essas duas variáveis da fase líquida (temperatura afluente e temperatura efluente), os valores de  $p$  foram de 0,648 e 0,623, demonstrando correlação positiva forte.

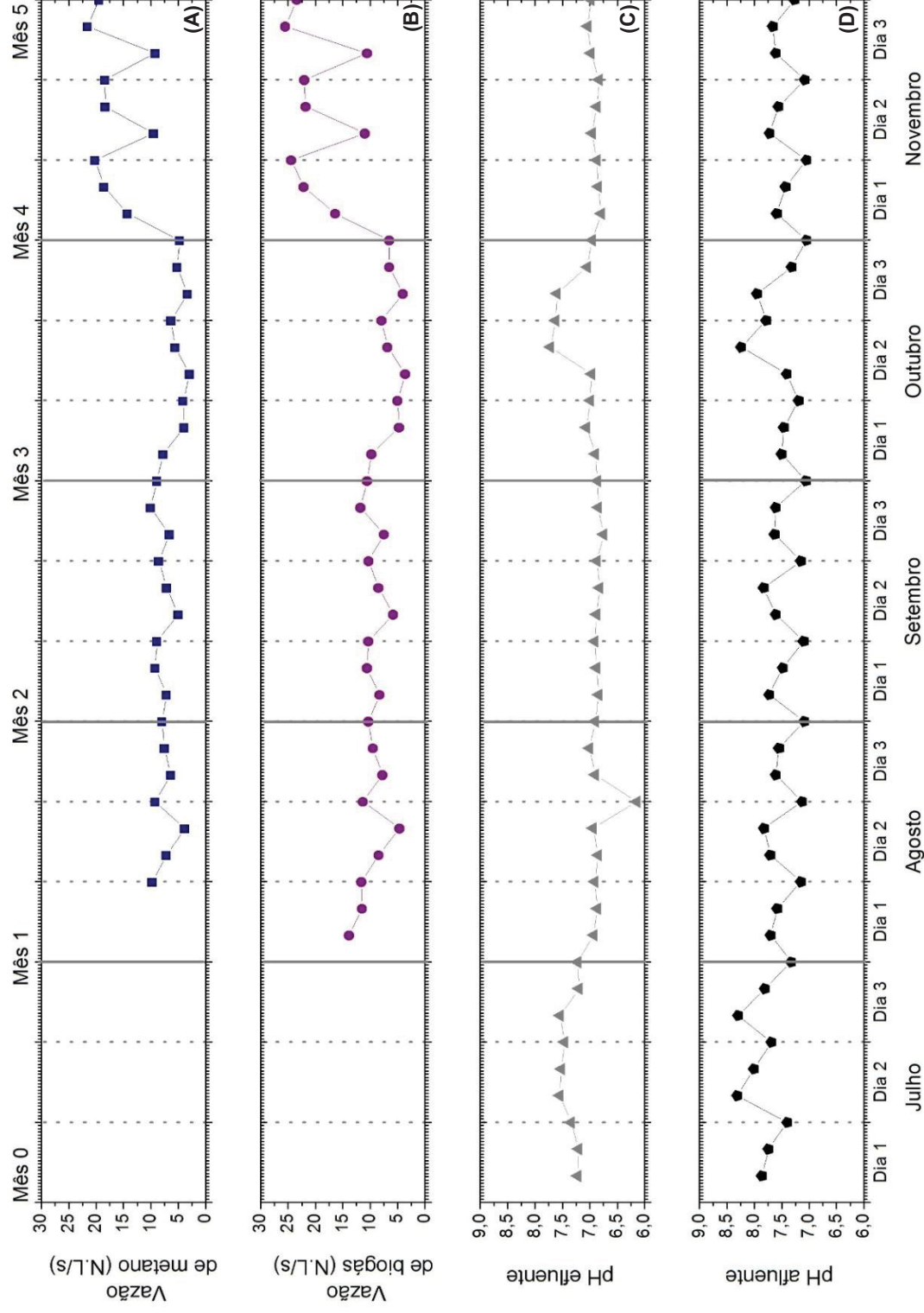
Essas correlações obtidas destoam do identificado por Campello (2009) e Cabral (2016), os quais afirmam que outros parâmetros desempenharam papel mais importante na produção de biogás, do que a temperatura do esgoto. A exemplo disso, Cabral (2016) relata que em uma das ETEs de avaliação, a variável temperatura não chegou a atingir o nível de significância estatístico pretendido ( $\alpha = 5\%$ ).

Entretanto, o fato de as correlações serem significativas, estão de acordo com o estabelecido por Foresti et al. (1999), os quais reiteram que a temperatura é um parâmetro físico do esgoto doméstico de elevada relevância, uma vez que afeta diretamente as taxas de reações biológicas e os parâmetros operacionais do reator, e consequentemente a produção de biogás e de metano.

Ademais, as correlações positivas eram esperadas, uma vez que quanto maior a temperatura, maior a atividade biológica dentro dos reatores, ou seja, quanto maior a ação das arqueas metanogênicas, maior será a produção de biogás e de metano (FORESTI et al., 1999).

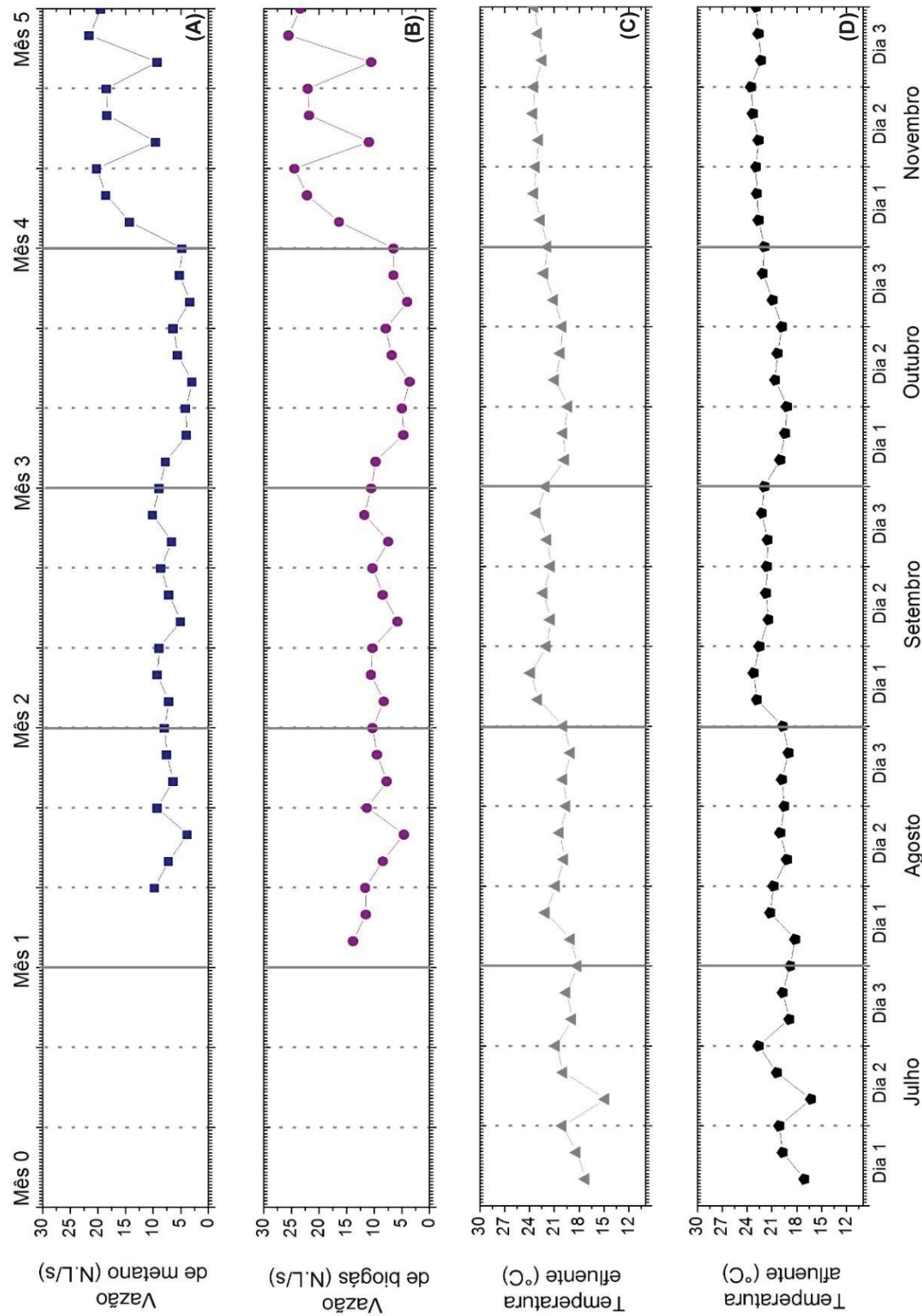
De acordo com Zahng et. al. (2006), a temperatura influencia diretamente na formação do metano, tendo em vista que, afeta de forma significativa a conversão, cinética, estabilidade e qualidade do efluente. Além do que, nos processos anaeróbios, é importante manter uma temperatura constante dentro do reator, principalmente pelo fato de que as arqueas metanogênicas são muito sensíveis a variações bruscas de temperatura (BARRERA, 2003; CHERNICHARO, 2011).

FIGURA 36 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), PH DO ESGOTO EFLUENTE (C) E PH DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

FIGURA 37 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), TEMPERATURA DO ESGOTO AFLUENTE (C) E TEMPERATURA DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

#### 4.1.4 Correlações entre produção de biogás e sólidos do esgoto

O valor médio de sólidos sedimentáveis (SSed) para o esgoto afluente foi de  $(2,57 \pm 1,72)$  mL.L<sup>-1</sup> e na saída dos reatores do tipo UASB foi de  $(0,90 \pm 0,70)$  mL.L<sup>-1</sup>. Os valores de saída encontrados mantiveram-se próximos dos padrões de lançamento exigidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011, a qual fixa que esse parâmetro deve ser menor do que 1,0 mL.L<sup>-1</sup>. Destaca-se ainda, que a ETE possui pós-tratamento, fato esse, que diminui ainda mais o valor de SSed que efetivamente é descartado no rio. As estatísticas descritivas dos dados de sólidos sedimentáveis encontram-se expressas na TABELA 25.

TABELA 25 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS

Parâmetros	SSed afluente (mL.L <sup>-1</sup> )	SSed efluente (mL.L <sup>-1</sup> )
<b>Média</b>	2,57	0,90
<b>Mediana</b>	2,00	0,75
<b>Desvio padrão</b>	1,72	0,70
<b>Máximo</b>	6,00	3,50
<b>Mínimo</b>	0,10	0,10
<b>Número de amostras</b>	45	45

Os sólidos sedimentáveis do esgoto afluente apresentaram comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário (FIGURA 38), assim como aquele inerente à produção de biogás e de metano. Além disso, o coeficiente de correlação de Spearman foi de 0,540, com a vazão de biogás, e de 0,570, com a vazão de metano, indicando correlações positivas moderadas.

Os sólidos sedimentáveis do esgoto efluente apresentaram comportamento temporal variável e quase estacionário em determinados instantes. Além disso, não foi possível afirmar que existe periodicidade. As correlações obtidas para tais parâmetros com a produção de biogás e de metano, apresentaram valores de  $\rho$  de 0,435 e 0,442, de modo respectivo, sugerindo correlações positivas moderadas.

Na TABELA 26 apresentam-se as estatísticas descritivas dos dados de SST, SSF e SSV do esgoto afluente e efluente da estação. Nota-se que esses parâmetros são bastante variáveis, uma vez que variam em função de diversos aspectos, como clima e hábitos culturais.

TABELA 26 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE SST, SSF E SSV

Parâmetros	SST afluente (mg.L <sup>-1</sup> )	SST efluente (mg.L <sup>-1</sup> )	SSF afluente (mg.L <sup>-1</sup> )	SSF efluente (mg.L <sup>-1</sup> )	SSV afluente (mg.L <sup>-1</sup> )	SSV efluente (mg.L <sup>-1</sup> )
<b>Média</b>	227	126	42	28	185	98
<b>Mediana</b>	196	122	29	24	163	97
<b>Desvio padrão</b>	196	52	70	28	158	43
<b>Máximo</b>	2900	342	995	268	2383	269
<b>Mínimo</b>	35	6	0	0	0	0
<b>Número de amostras</b>	360	360	360	360	360	360

Quanto à eficiência média de remoção dos SSV do esgoto doméstico nos reatores UASB, o valor obtido foi de  $(50,97 \pm 20,61)\%$ . Na TABELA 27 tem-se os coeficientes de correlação de Spearman para o SST, SSF e SSV, com vazão de biogás e vazão de metano.

TABELA 27 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA SST, SSF E SSV

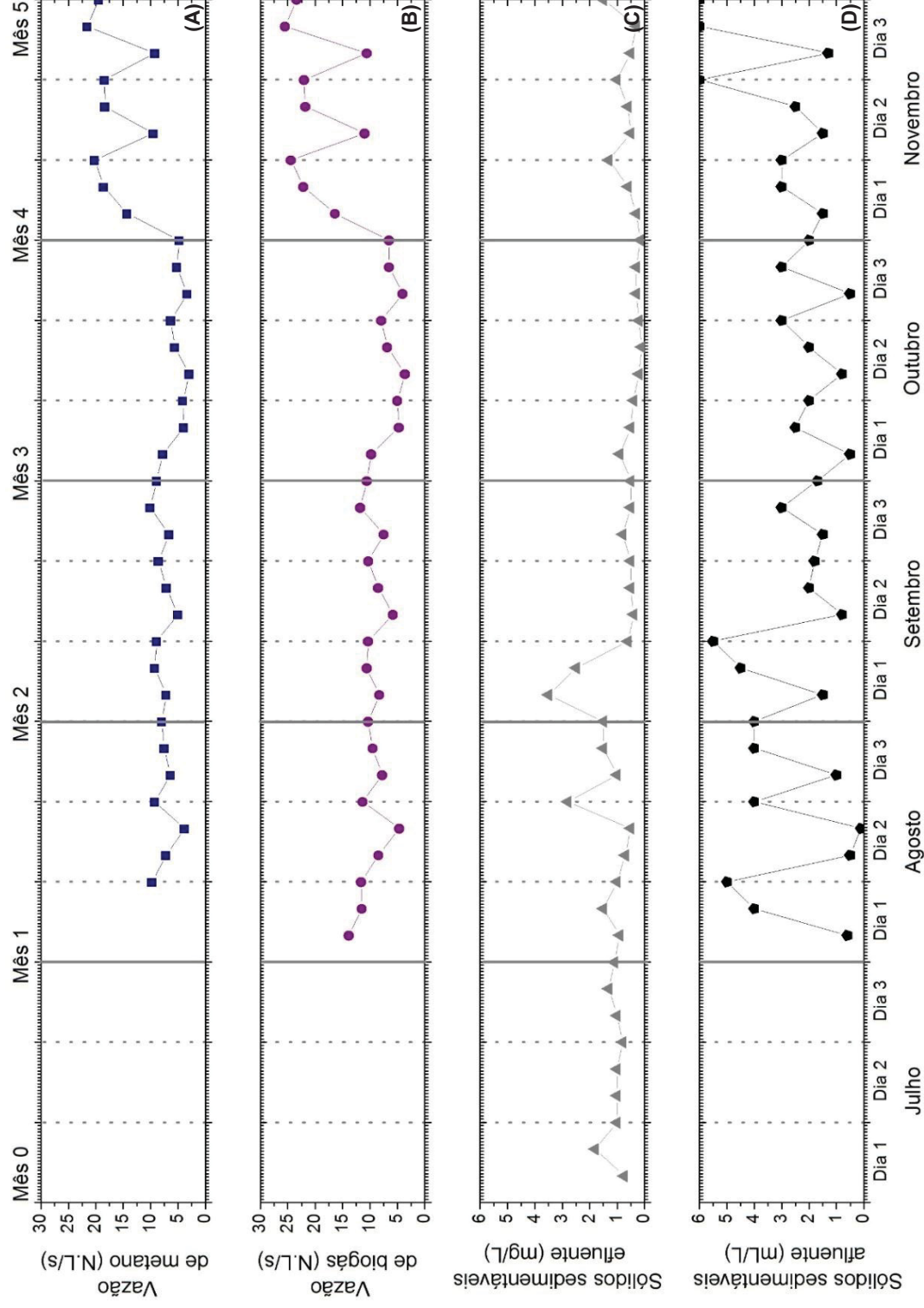
Parâmetros	SST afluente	SST efluente	SSF afluente	SSF efluente	SSV afluente	SSV efluente
<b>Vazão de biogás</b>	0,579	0,523	0,304	0,170	0,624	0,649
<b>Vazão de metano</b>	0,577	0,535	0,297	0,168	0,623	0,664

A partir da observação dos valores de  $p$ , da FIGURA 39 e da FIGURA 40, constata-se que o SSV possui correlação positiva forte com a produção e desprendimento de biogás e de metano. O SST apresenta correlação moderada. E o SSF apresenta correlação de fraca a muito fraca. Além disso, destaca-se que os SST, SSF e SSV apresentam comportamento temporal variável e não estacionário, e os SST e SSV expressam também amplitude bastante variável.

Como o SSV refere-se à fração orgânica presente no esgoto, quanto maior for sua presença, maior será o substrato disponível para uso dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica, dessa forma, quanto maior o substrato disponível para as arqueas metanogênicas, maior será a produção e desprendimento do biogás e do metano, justificando assim, a correlação positiva obtida entre as variáveis. Como o SSF representa a fração inerte do esgoto doméstico e não é utilizado como substrato durante o processo de digestão anaeróbia, não possui influência direta com a produção de biogás e de metano, esclarecendo desta forma, as correlações de fraca a muito fraca atingidas.



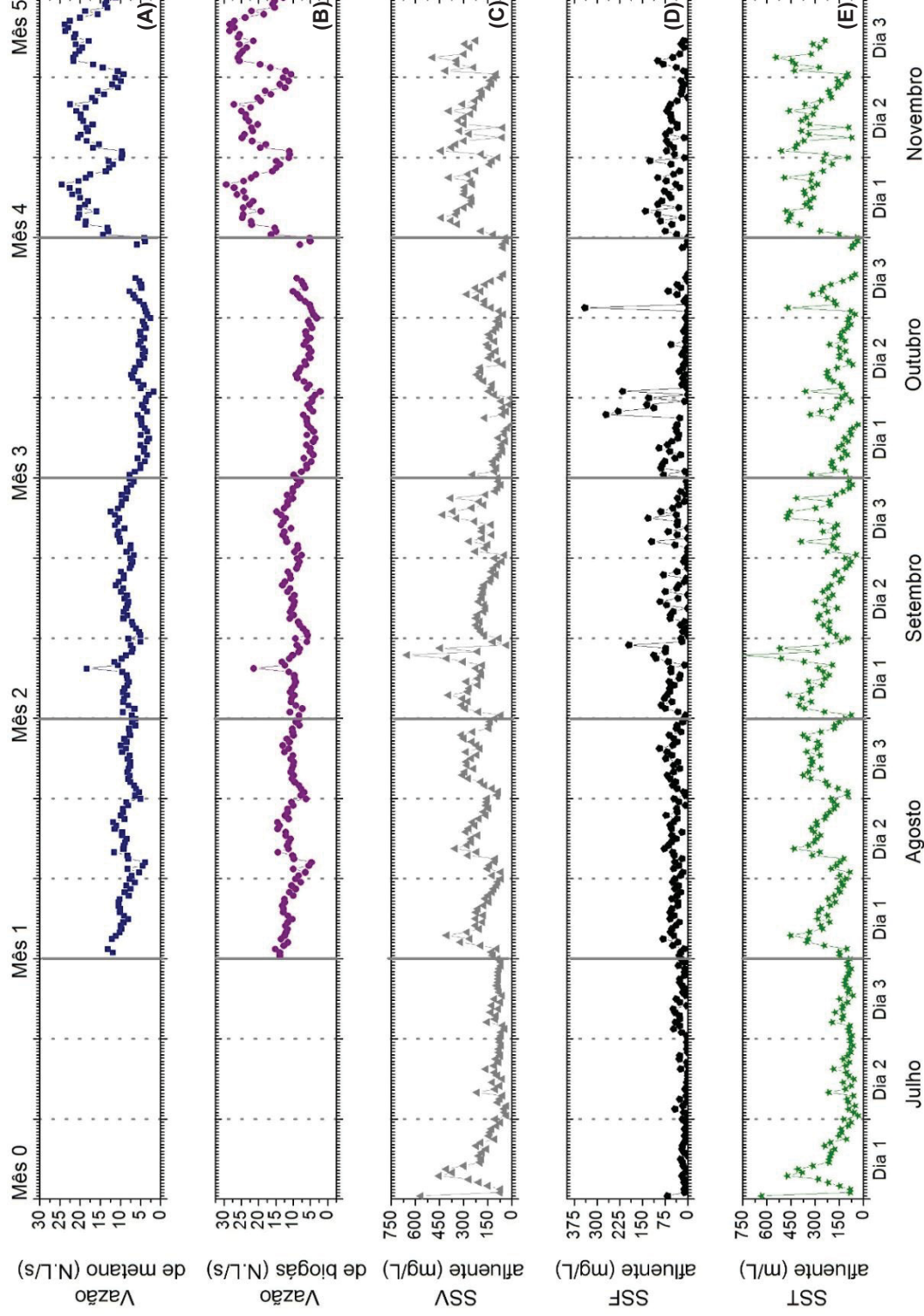
FIGURA 38 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DO ESGOTO AFLUENTE (C) E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

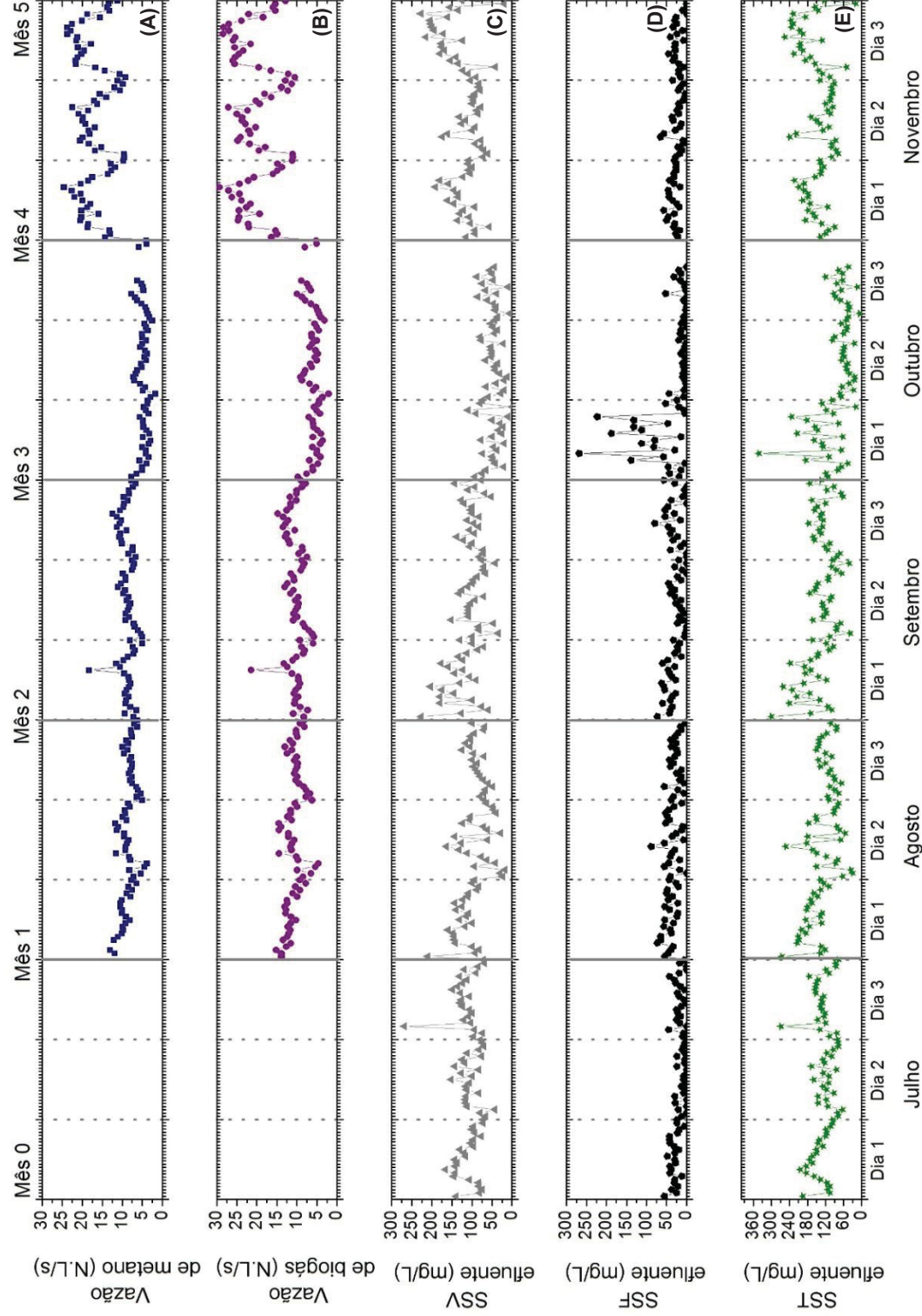


FIGURA 39 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), SSV DO ESGOTO AFLUENTE (C), SSF DO ESGOTO AFLUENTE (D) E SST DO ESGOTO AFLUENTE (E) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

FIGURA 40 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), SSV DO ESGOTO EFLUENTE (C), SSF DO ESGOTO EFLUENTE (D) E SST DO ESGOTO EFLUENTE (E) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

#### 4.1.5 Correlações entre produção de biogás e sulfato e sulfeto do esgoto

O teor médio de sulfato na entrada foi de  $(51,01 \pm 25,31)$  mg.L<sup>-1</sup> e na saída, foi de  $(19,41 \pm 10,27)$  mg.L<sup>-1</sup>. A média de sulfeto na entrada foi  $(2,10 \pm 2,54)$  mg.L<sup>-1</sup>, este valor foi inferior ao determinado no efluente  $(7,94 \pm 4,37)$  mg.L<sup>-1</sup>, visto que os sulfetos são formados após o tratamento anaeróbio. As estatísticas descritivas dos dados de sulfato e sulfeto encontram-se expressas na TABELA 28 e na TABELA 29, respectivamente.

Analisando a relação entre sulfato e sulfeto, é perceptível a ação das bactérias redutoras de sulfato (BRS), uma vez que foi constatada uma redução média na concentração de sulfato na ordem de  $(39,67 \pm 20,76)$  mg.L<sup>-1</sup> e um aumento na concentração de sulfeto de  $(5,83 \pm 3,39)$  mg.L<sup>-1</sup>.

Ressalta-se que com a geração de sulfetos, consequentemente tem-se a formação de sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) no reator, considerado um dos principais gases odorantes presentes em ETEs. Isso ocorre, porque os sulfetos quando presentes no meio líquido, são facilmente liberados para atmosfera na forma de gás (CHEN et al., 2011; EGHBAL; PENNEFATHER; O'BRIEN, 2004; LAMBERT et al., 2006; Zhang et al., 2013; CHERNICHARO, 2011).

TABELA 28 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE SULFATO

Parâmetros	Sulfato afluente (mg.L <sup>-1</sup> )	Sulfato efluente (mg.L <sup>-1</sup> )
<b>Média</b>	51,01	19,41
<b>Mediana</b>	50,90	14,84
<b>Desvio padrão</b>	25,31	10,27
<b>Máximo</b>	96,70	54,62
<b>Mínimo</b>	11,26	9,74
<b>Número de amostras</b>	45	45

TABELA 29 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE SULFETO

Parâmetros	Sulfeto afluente (mg.L <sup>-1</sup> )	Sulfeto efluente (mg.L <sup>-1</sup> )
<b>Média</b>	2,10	7,94
<b>Mediana</b>	1,45	7,53
<b>Desvio padrão</b>	2,54	4,37
<b>Máximo</b>	13,52	20,19
<b>Mínimo</b>	0,10	0,76
<b>Número de amostras</b>	45	45

Na FIGURA 41 e na FIGURA 42 pode-se visualizar o comportamento do sulfato e sulfeto do esgoto doméstico que entra e sai da ETE. Nota-se que, o sulfato (afluente e efluente) e o sulfeto afluente apresentam comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário, como aquele característico da produção de biogás e de metano. Já o sulfeto efluente, varia com o tempo, não se estagna, porém, parece não seguir uma periodicidade.

Como pode ser observado na TABELA 30, as correlações de Spearman para essas variáveis são positivas, de fracas a moderadas. Exceto para variável sulfato efluente, a qual apresentou valor de p maior do que o nível de significância de 0,05, indicando que as correlações obtidas não são significativas.

TABELA 30 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA SULFATO E SULFETO

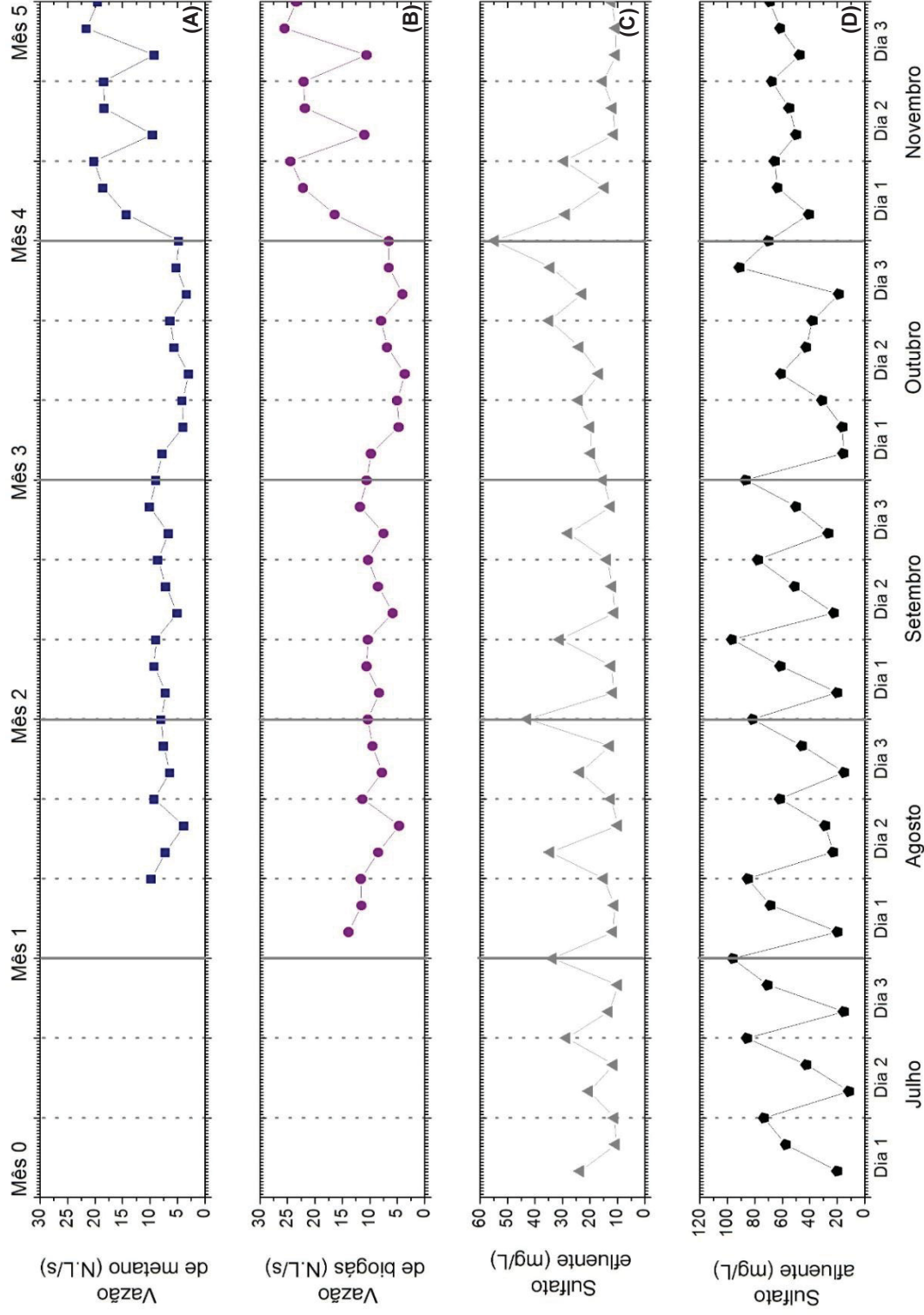
Parâmetros	Sulfato afluente	Sulfato efluente	Sulfeto afluente	Sulfeto efluente
<b>Vazão de biogás</b>	0,418	-0,275	0,404	0,523
<b>Vazão de metano</b>	0,458	-0,271	0,377	0,507

Concernente as correlações positivas entre vazão de biogás e de metano e sulfato e sulfeto, as mesmas divergem do estabelecido por Lobato (2011), a qual afirma que as concentrações de sulfato acarretam em diminuição na produção de metano, uma vez que parte da DQO acaba sendo utilizada pelas bactérias redutoras de sulfato (BRS).

Nessa ocasião, as BRS competem com as arqueas metanogênicas pelos substratos (FORESTI et al., 1999). Assim, quanto maior a concentração de sulfato, maior será a de sulfeto, entretanto, menor deverá ser a produção de biogás e de metano.

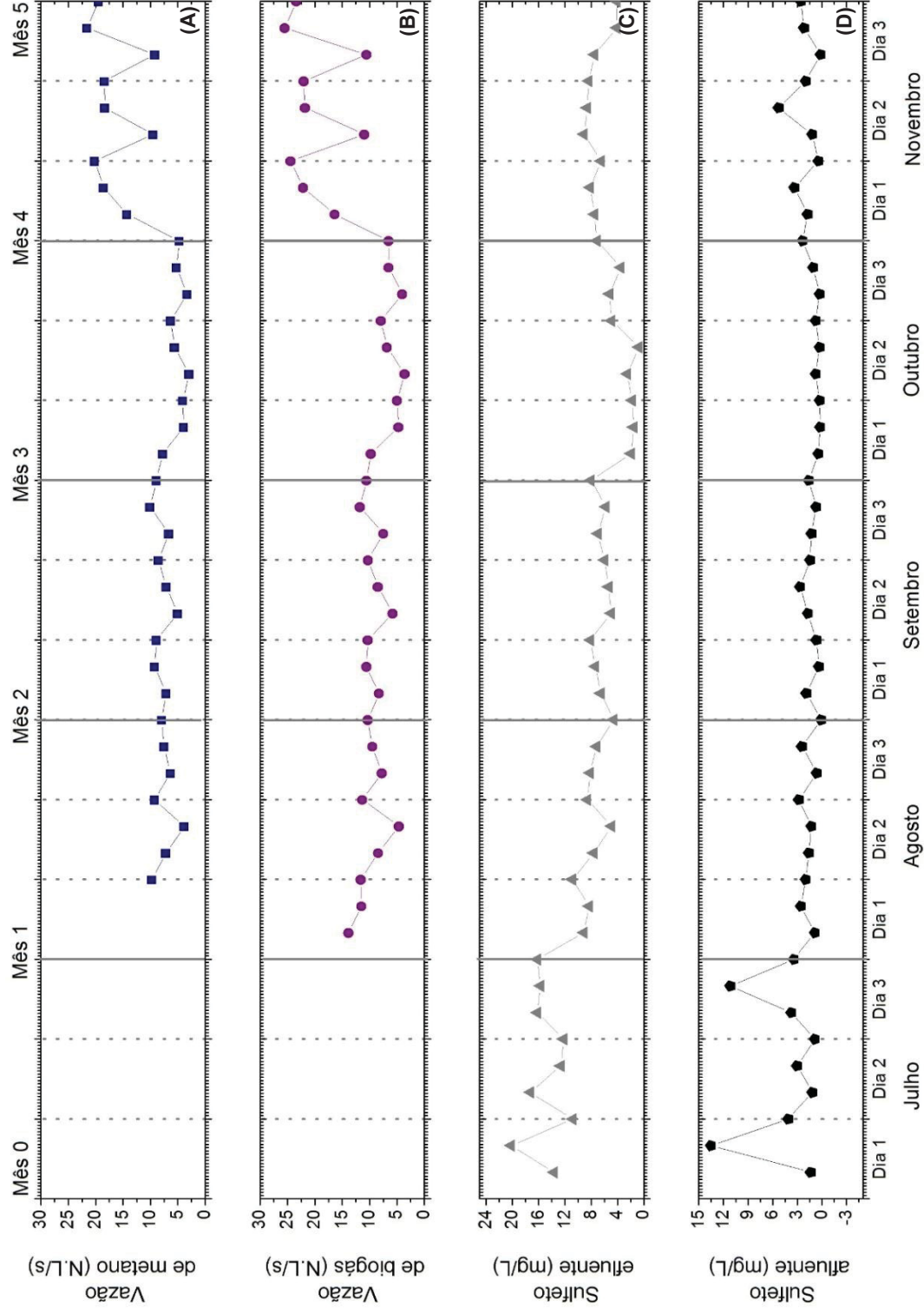


FIGURA 41 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), SULFATO DO ESGOTO EFLUENTE (C) E SULFATO DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

FIGURA 42 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), SULFETO DO ESGOTO AFLUENTE (C) E SULFETO DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

#### 4.1.6 Correlações entre produção de biogás e nitrogênio total e nitrogênio amoniacal do esgoto

Para o parâmetro de nitrogênio total, o valor médio na entrada foi de  $(103,45 \pm 40,02)$  mg.L<sup>-1</sup> e o valor médio de saída foi de  $(85,45 \pm 23,03)$  mg.L<sup>-1</sup>. O teor médio de nitrogênio amoniacal na entrada foi de  $(58,07 \pm 32,88)$  mg.L<sup>-1</sup> e na saída foi de  $(56,37 \pm 23,90)$  mg.L<sup>-1</sup>. Para melhor verificação, na TABELA 31 estão apresentadas as estatísticas descritivas dos dados de nitrogênio total e na TABELA 32 dos dados de nitrogênio amoniacal.

Destaca-se que, de acordo com a literatura (JORDÃO; PESSOA, 2011), em termos de nitrogênio total e amoniacal, o esgoto é classificado como forte. Além disso, nota-se que não houve remoção de nitrogênio amoniacal, uma vez que, os reatores do tipo UASB não são capazes de remover nutrientes por si só, necessitando de pós-tratamento quando se tem lançamento em situações mais restritivas (VON SPERLING, 1996; CHERNICHARO et al., 1999; CHERNICHARO, 2011).

TABELA 31 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA PARA OS DADOS DE NITROGÊNIO TOTAL

Parâmetros	Nitrogênio total afluente (mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrogênio total efluente (mg.L <sup>-1</sup> )
Média	103,45	85,45
Mediana	98,97	92,90
Desvio padrão	40,02	23,03
Máximo	247,92	147,86
Mínimo	42,16	24,41
Número de amostras	45	45

TABELA 32 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE NITROGÊNIO AMONICAL

Parâmetros	Nitrogênio amoniacal afluente (mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrogênio amoniacal efluente (mg.L <sup>-1</sup> )
Média	58,07	56,37
Mediana	54,50	59,60
Desvio padrão	32,88	23,90
Máximo	153,20	95,80
Mínimo	7,80	16,60
Número de amostras	45	45



O comportamento do nitrogênio total e do nitrogênio amoniacal estão apresentados na FIGURA 43 e na FIGURA 44, respectivamente, sendo ambos semelhantes ao comportamento da produção e desprendimento de biogás e de metano.

Além disso, pelos valores de  $p$  obtidos (TABELA 33), as correlações entre as variáveis da fase gasosa e o nitrogênio total são positivas moderadas, tanto para afluente quanto para efluente. Já para o nitrogênio amoniacal, as correlações são inferiores ao nível de significância adotado ( $\alpha = 5\%$ ).

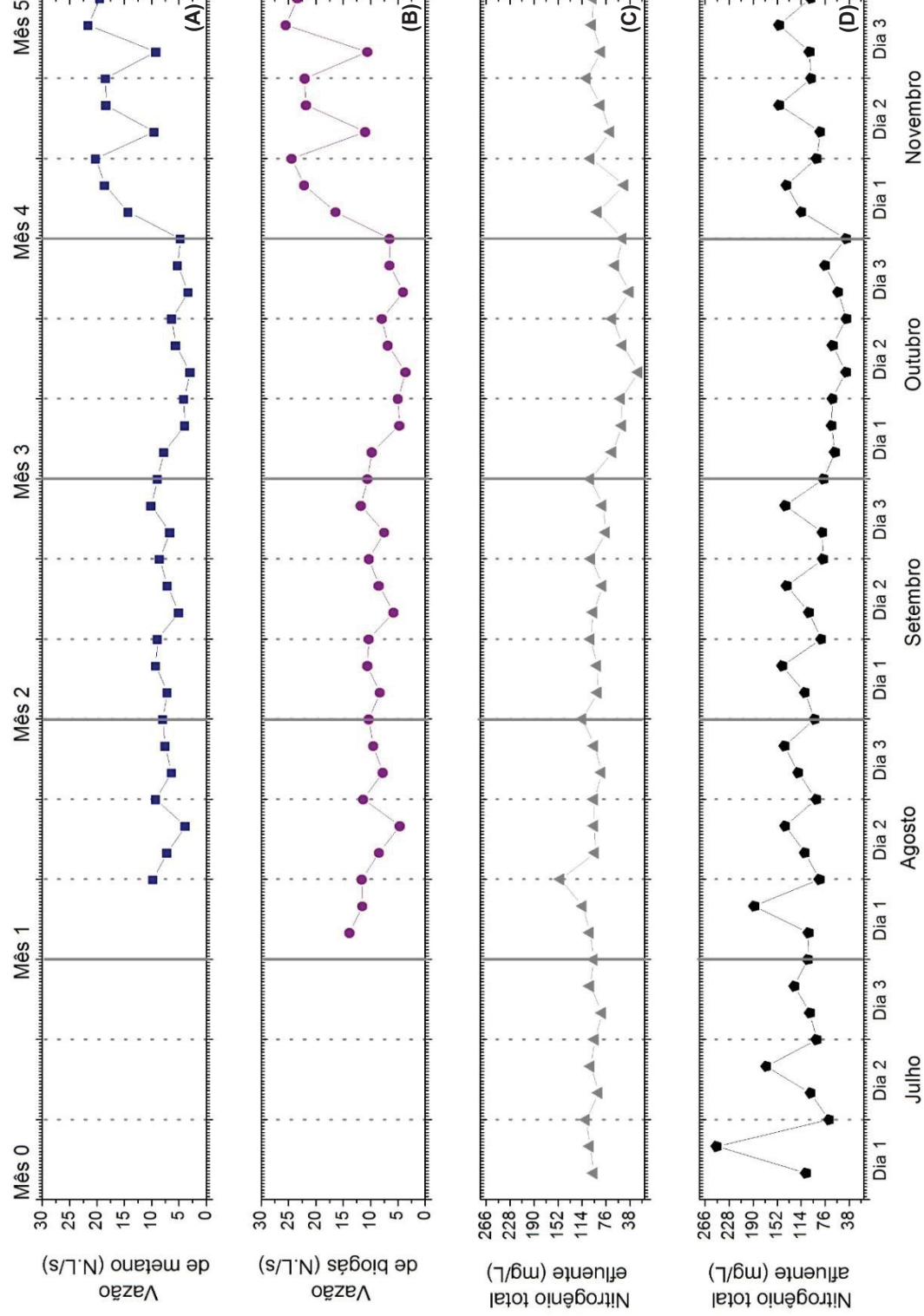
TABELA 33 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA NITROGÊNIO TOTAL E NITROGÊNIO AMONIAICAL

Parâmetros	Nitrogênio total afluente	Nitrogênio total efluente	Nitrogênio amoniacal afluente	Nitrogênio amoniacal efluente
Vazão de biogás	0,503	0,544	0,022	0,092
Vazão de metano	0,510	0,529	-0,011	0,036

O nitrogênio, é considerado um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela degradação do material orgânico, podendo atuar como limitante, ocasionando alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio, e levando a perdas de produtividade e de biodiversidade (LAMPARELLI, 2004).

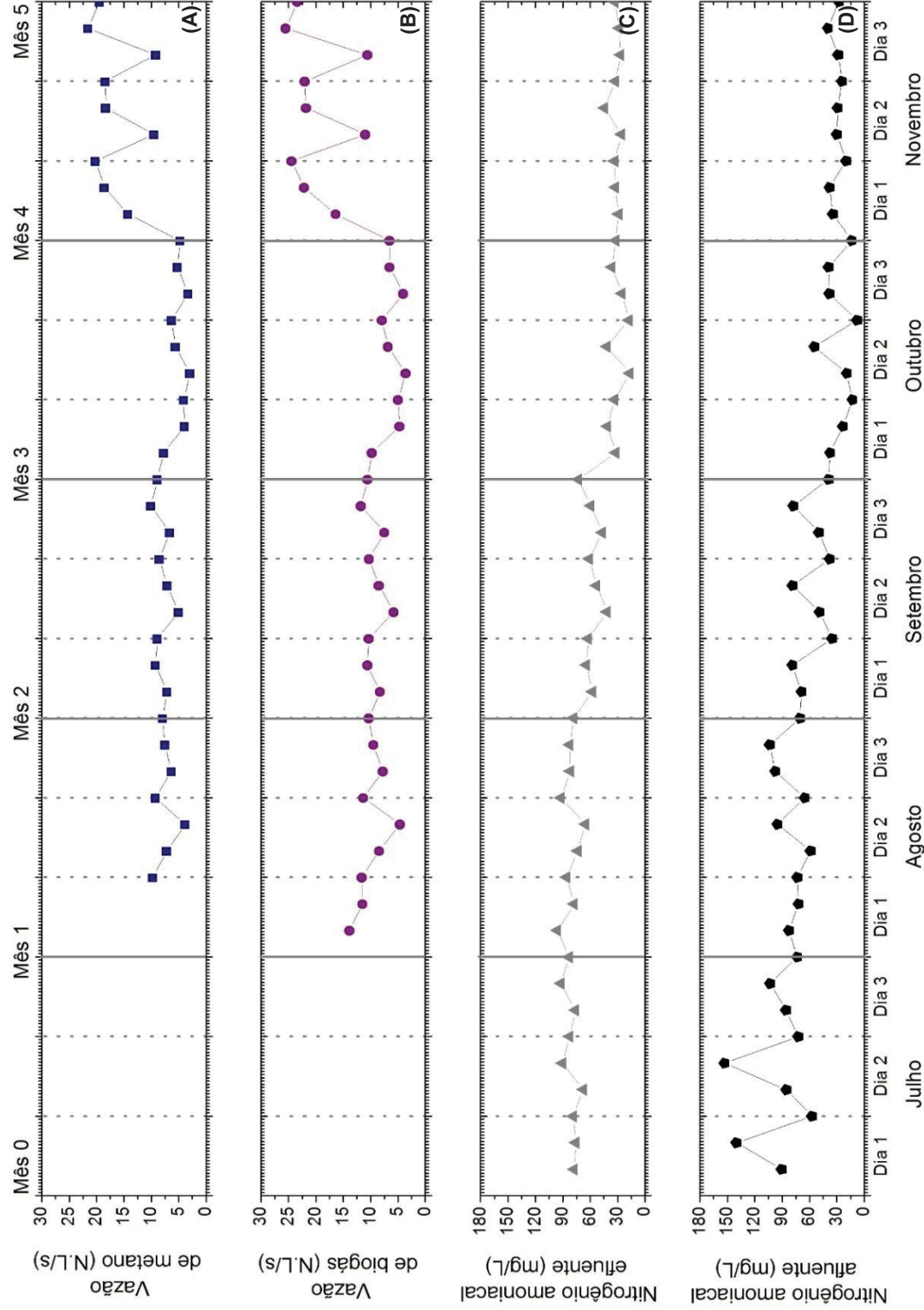
Dessa forma, quando esse nutriente encontra-se em baixas concentrações o crescimento populacional dos microrganismos também é baixo e, quando ocorre à elevação da concentração do nutriente o crescimento populacional também aumenta (RIBEIRO, 2007). Nesse sentido, tal fato fundamenta as correlações positivas encontradas entre nitrogênio total e vazão de biogás e de metano, uma vez que quanto maior as concentrações desse nutriente, melhor a ação das bactérias responsáveis pela produção de biogás e de metano.

FIGURA 43 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), NITRÓGENIO TOTAL DO ESGOTO AFLUENTE (C) E NITRÓGENIO TOTAL DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

FIGURA 44 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), NITROGÊNIO AMONÍACAL DO ESGOTO AFLUENTE (C) E NITROGÊNIO AMONÍACAL DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

#### 4.1.7 Correlações entre produção de biogás e fósforo total do esgoto

Referente ao fósforo total, a média na entrada foi de  $(7,26 \pm 3,82)$  mg.L<sup>-1</sup>, já o valor médio de saída foi de  $(6,55 \pm 3,25)$  mg.L<sup>-1</sup>. Na TABELA 34 estão apresentadas as estatísticas descritivas dos dados de fósforo total.

Nota-se, que assim como para o nitrogênio, não houve remoção de fósforo no sistema, sendo necessário pós-tratamento para este fim (VON SPERLING, 1996; CHERNICHARO et al., 1999; CHERNICHARO, 2011).

Além disso, os valores obtidos encontram-se dentro da faixa estabelecida por van Haandel e Marais (1999), os quais afirmam que normalmente o fósforo total presente no esgoto sanitário brasileiro apresenta concentrações na faixa de 5 a 8 mg.L<sup>-1</sup>. Conforme os autores relatam, estas concentrações variam de localidade para localidade.

TABELA 34 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE FÓSFORO TOTAL

Parâmetros	Fósforo total afluente (mg.L <sup>-1</sup> )	Fósforo total efluente (mg.L <sup>-1</sup> )
<b>Média</b>	7,26	6,55
<b>Mediana</b>	7,70	8,00
<b>Desvio padrão</b>	3,82	3,25
<b>Máximo</b>	13,70	11,80
<b>Mínimo</b>	1,20	1,20
<b>Número de amostras</b>	45	45

Quanto ao comportamento do fósforo total do esgoto afluente da estação, nota-se pela FIGURA 45, que o mesmo segue comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário, como aquele inerente a produção de biogás e de metano.

Já o comportamento do fósforo total do esgoto efluente da ETE, parece ser distinto, sendo temporal variável e não-estacionário, mas sem seguir uma periodicidade.

Ademais, como pode ser visualizado na FIGURA 45, no mês de julho, as concentrações do fósforo total afluente e do fósforo total efluente foram bem inferiores aquelas obtidas para os meses seguintes (agosto, setembro, outubro e novembro). Contudo, não foram constatadas alterações climáticas e/ou fatores externos que pudessem ter influência direta nos resultados obtidos. Na TABELA 35 estão apresentadas as correlações de Spearman entre o fósforo total e a vazão de biogás e de metano.

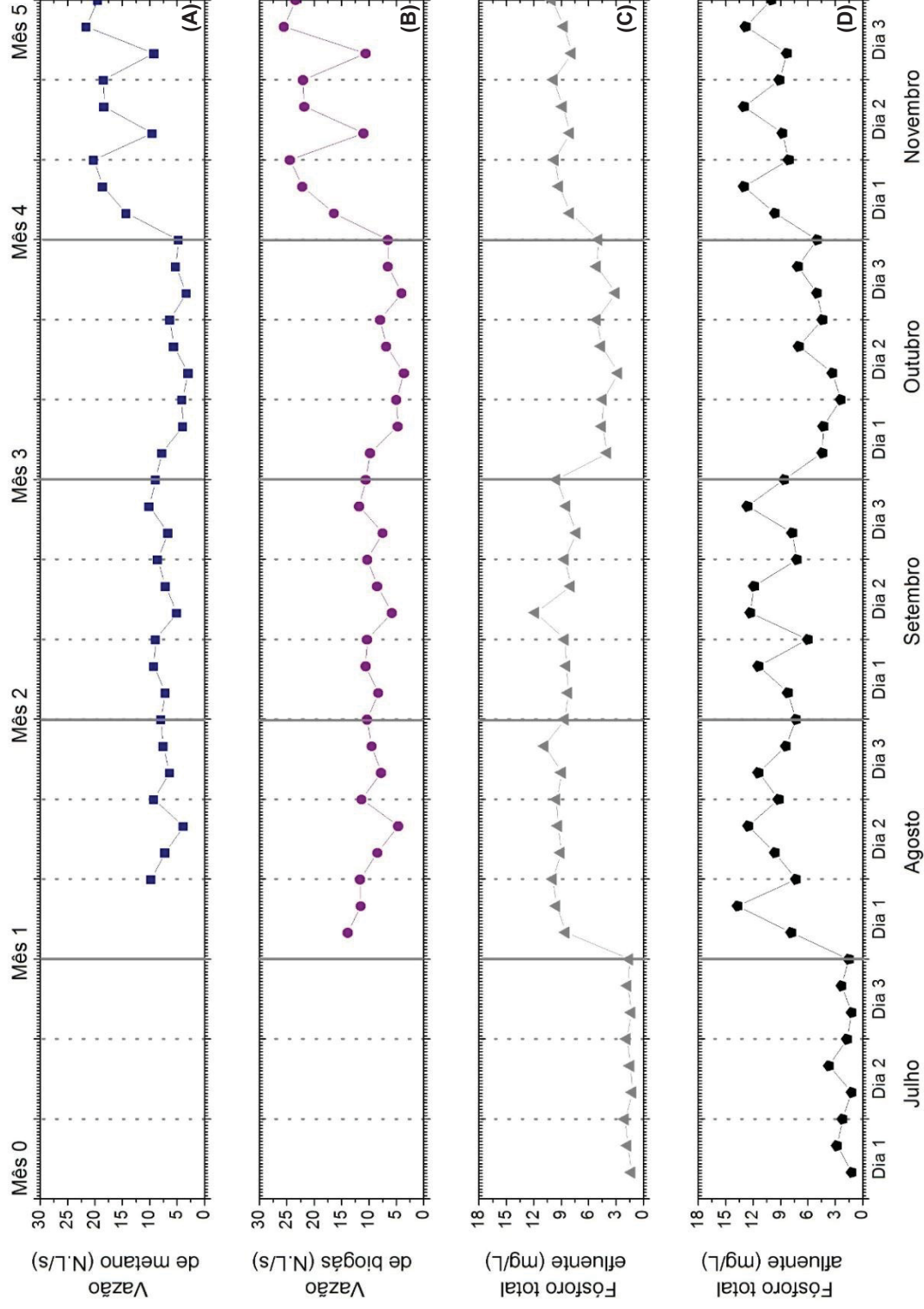
TABELA 35 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA FÓSFORO TOTAL

<b>Parâmetros</b>	<b>Fósforo total afluente</b>	<b>Fósforo total efluente</b>
<b>Vazão de biogás</b>	0,535	0,539
<b>Vazão de metano</b>	0,542	0,545

Com base nos dados, é possível afirmar que as correlações existentes são positivas moderada, isto é, o fósforo total do esgoto afluente e do esgoto efluente, estão diretamente relacionados com a vazão de biogás e de metano.

Isso pode ser justificado pelo fato de que o fósforo, assim como o nitrogênio, é um nutriente essencial para o adequado desempenho dos microrganismos responsáveis pela degradação do material orgânico, acarretando em maior produção de biogás e de metano, à medida que se torna maior (LAMPARELLI, 2004; RIBEIRO, 2007).

FIGURA 45 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), FÓSFORO TOTAL DO ESGOTO EFLUENTE (C) E FÓSFORO TOTAL DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.



#### 4.1.8 Correlações entre produção de biogás e vazão, DQO, DBO e carga orgânica do esgoto

Considerando o resultado da vazão de esgoto doméstico que chega na ETE, observa-se que é inferior a vazão de projeto de  $420 \text{ L.s}^{-1}$ , sendo que a média foi de  $(340,45 \pm 117,42) \text{ L.s}^{-1}$ , apresentando picos mínimos normalmente entre as 6h e 8h e máximos entre as 12h e 14h.

Como pode ser verificado na FIGURA 47 a vazão de esgoto segue comportamento análogo ao da produção de biogás e metano, sendo temporal variável, periódico e não estacionário.

Os coeficientes de Spearman entre vazão de esgoto e vazão de biogás e de metano, foram de -0,286 e -0,297, respectivamente, indicando correlações fracas e inversamente proporcionais, assim como relatado por Cabral (2016).

Referente à DQO, o afluente apresentou valor médio de  $(649,72 \pm 291,85) \text{ mg.L}^{-1}$  e o efluente de  $(369,67 \pm 129,72) \text{ mg.L}^{-1}$ . O valor médio da DQO afluente filtrada foi de  $(237,38 \pm 140,10) \text{ mg.L}^{-1}$  e da DQO efluente filtrada foi de  $(161,05 \pm 57,21) \text{ mg.L}^{-1}$ . Na TABELA 36 estão apresentadas as estatísticas descritivas desses parâmetros.

TABELA 36 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE DQO

Parâmetros	DQO afluente ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	DQO efluente ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	DQO afluente filtrada ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	DQO efluente filtrada ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
<b>Média</b>	649,72	369,67	237,38	161,05
<b>Mediana</b>	646,00	373,00	214,00	160,00
<b>Desvio padrão</b>	291,85	129,72	140,10	57,21
<b>Máximo</b>	1921,00	784,00	640,00	404,00
<b>Mínimo</b>	49,00	122,00	57,00	36,00
<b>Número de amostras</b>	360	360	45	360

A eficiência média do sistema em termos de remoção de DQO filtrada foi de aproximadamente  $(70,53 \pm 17,01)\%$ . A variação dessa eficiência, usualmente decorre do tempo de detenção do esgoto nos reatores, bem como da estabilidade destes (SILVA, 2015).



Além disso, o sistema apresentou boa eficiência de remoção de DQO, sendo que o valor obtido encontra-se dentro do estabelecido na literatura para reatores anaeróbios do tipo UASB tratando esgoto doméstico, como cita a TABELA 4 (CHERNICHARO et al., 2015).

Como mostra a FIGURA 48, o comportamento característico da DQO foi similar ao de desprendimento de biogás e metano, variando com o tempo, com periodicidade e sem estagnação, o que também foi identificado por Possetti et al. (2013).

Percebe-se também, que a produção máxima de biogás e metano na estação ocorre, usualmente, em dois instantes do dia, entre as 7h e 8h e entre as 23h e 0h, possivelmente por conta da variação na concentração de matéria orgânica ao longo do dia.

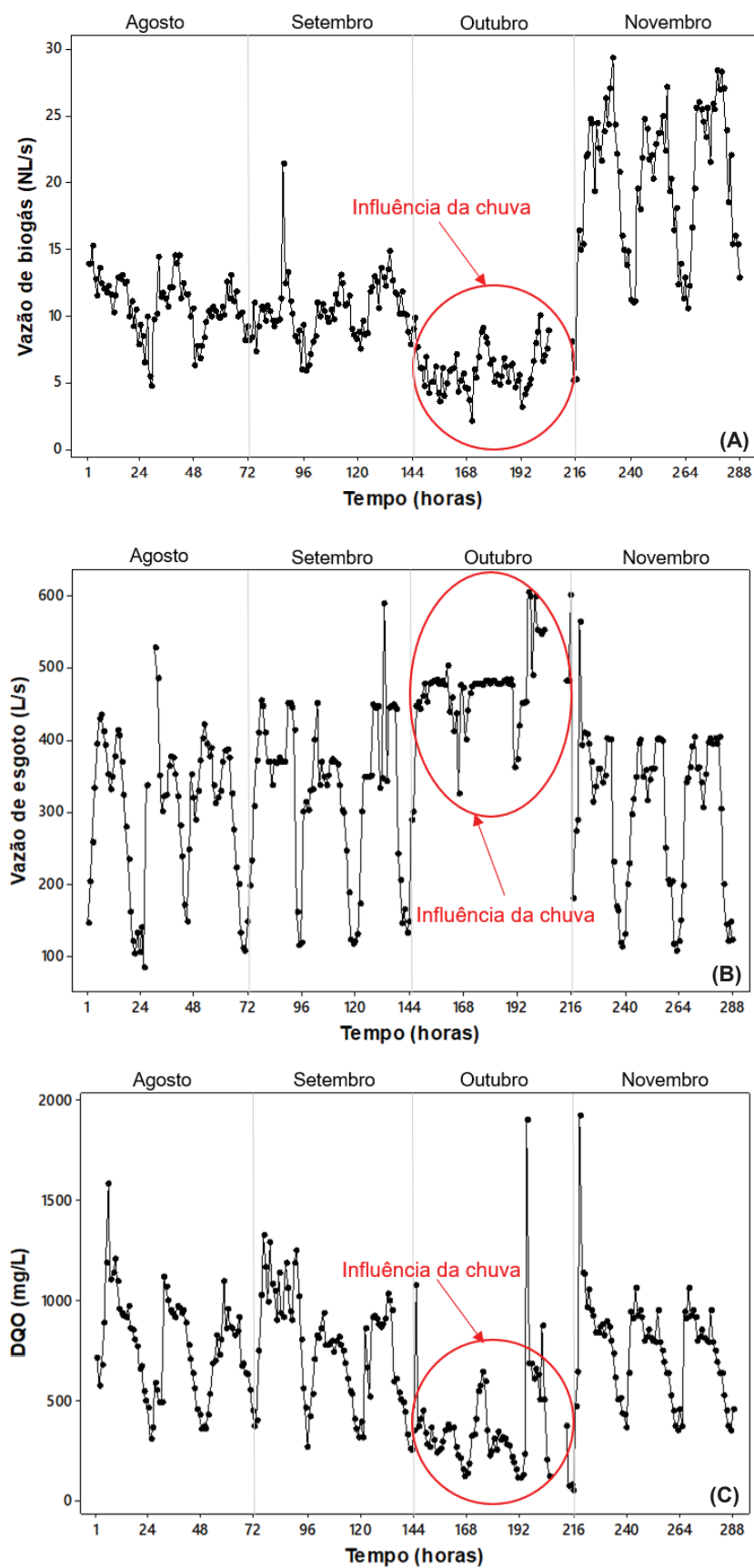
Possetti et al. (2013) apresentaram que as vazões máximas de produção do biogás ocorreram tipicamente entre 0h e 2h. Esse comportamento difere da curva encontrada no presente estudo. Assim, de acordo com Duarte et al. (2018), para compreender essa diferença de picos entre as estações, têm-se diversas possíveis explicações, como a forma da bacia hidrográfica contribuinte para a estação, hábitos, situação social e econômica da população que ali reside, configuração e estrutura das tubulações e redes, presença de extravasores nas ETEs, contribuição de esgoto industrial, dentre outros.

Os coeficientes de correlação de Spearman para DQO afluente e efluente, com produção de biogás foram de 0,590 e 0,359, indicando correlação positiva moderada para o material orgânico que entra, e correlação positiva fraca para o que sai. O mesmo é observado para correlação com o metano, onde os valores de  $\rho$  obtidos para DQO afluente e efluente foram de 0,594 e 0,355, respectivamente.

Destaca-se que dentre os meses de monitoramento, no mês de outubro 2018, ocorreram precipitações contínuas no local, de grande intensidade, sendo que a precipitação acumulada dos dias de monitoramento (15/10, 16/10, 17/10 e 18/10) foi de aproximadamente 81,3 mm.

Nesse contexto, observa-se um aumento na vazão de entrada da estação, uma diluição do esgoto e redução no aporte de matéria orgânica, e consequentemente uma diminuição na produção de biogás (FIGURA 46), como evidenciado por Possetti et al. (2013), Silva (2015), Waiss e Possetti (2015) e Cabral (2016).

FIGURA 46 – INFLUÊNCIA DE EVENTOS DE CHUVA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS (A), NA DILUIÇÃO DO ESGOTO (B) E NO APORTE DE MATÉRIA ORGÂNICA (C), EM REATORES DO TIPO UASB



Relacionando os dois parâmetros acima citados (vazão e DQO), obteve-se o comportamento característico da carga removida, a qual atingiu média de  $(424,98 \pm 358,16)$  kg.h<sup>-1</sup>.

Conforme apresenta a FIGURA 49, o comportamento da carga removida é semelhante ao da produção de biogás e metano, como relatado por Cabral (2016) em seu estudo. Os coeficientes de Spearman para esta variável relacionada com a produção de biogás e de metano, foram de 0,388 em ambos os casos, sugerindo correlação positiva fraca.

Referente à DBO, o valor médio obtido para o afluente foi de  $(345,60 \pm 136,85)$  mg.L<sup>-1</sup> e para o efluente foi de  $(180,53 \pm 82,90)$  mg.L<sup>-1</sup>. As estatísticas descritivas dos dados de DBO estão apresentadas na TABELA 37.

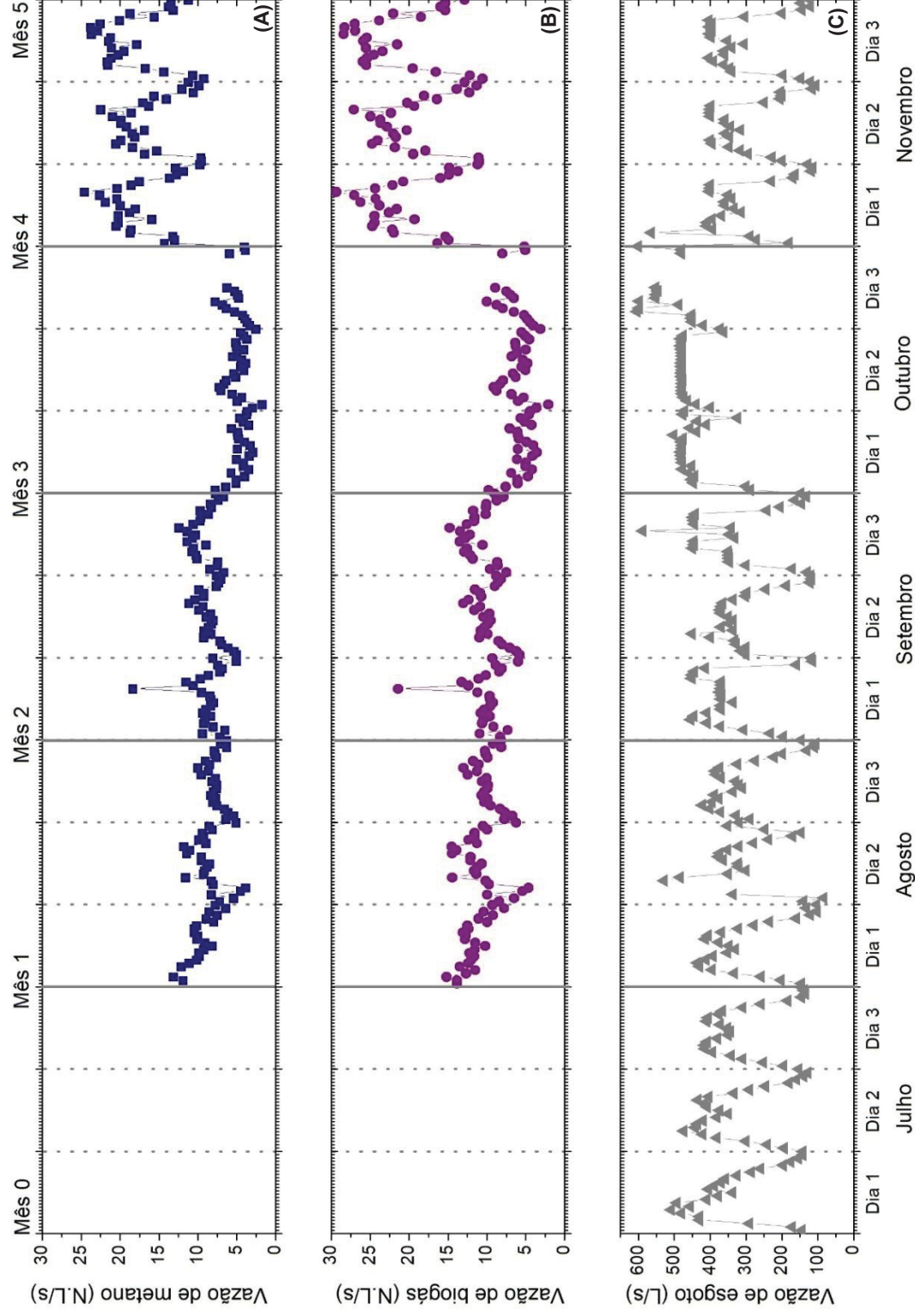
TABELA 37 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE DBO

Parâmetros	DBO afluente (mg.L <sup>-1</sup> )	DBO efluente (mg.L <sup>-1</sup> )
<b>Média</b>	345,60	180,53
<b>Mediana</b>	418,00	175,00
<b>Desvio padrão</b>	136,85	82,90
<b>Máximo</b>	500,00	460,00
<b>Mínimo</b>	73,00	32,00
<b>Número de amostras</b>	45	45

Como mostra a FIGURA 50 a DBO afluente apresentou comportamento como relatado por Possetti et al. (2013), e a DBO efluente não parece seguir uma frequência regular.

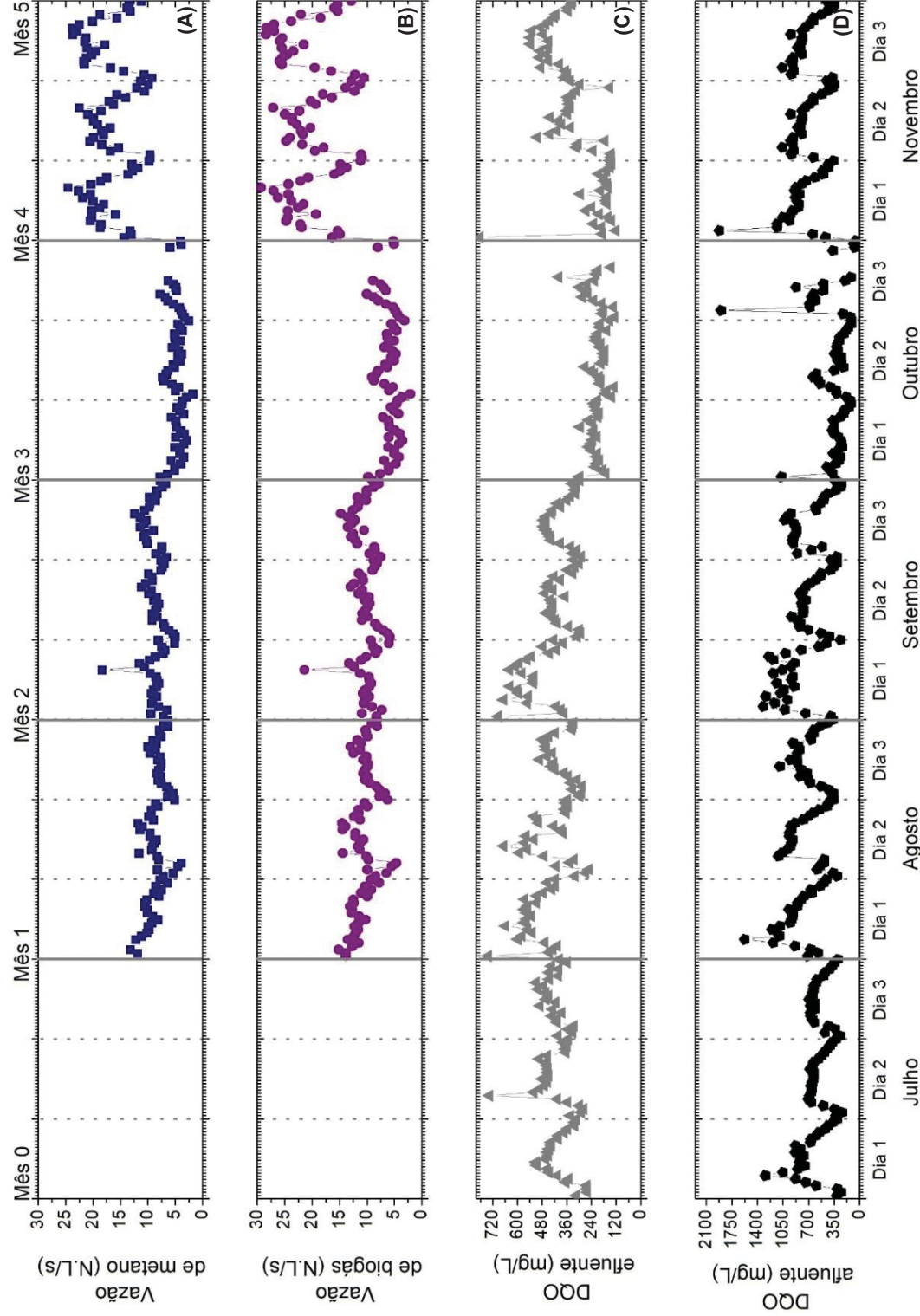
Os coeficientes de correlação de Spearman entre a DBO afluente e efluente e a vazão de biogás foram de 0,415 e 0,430, de modo respectivo. Para essas duas variáveis (DBO afluente e DBO efluente) e a vazão de metano, os coeficientes foram de 0,485 e 0,451. As correlações obtidas são positivas moderadas.

FIGURA 47 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B) E VAZÃO DE ESGOTO (C) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

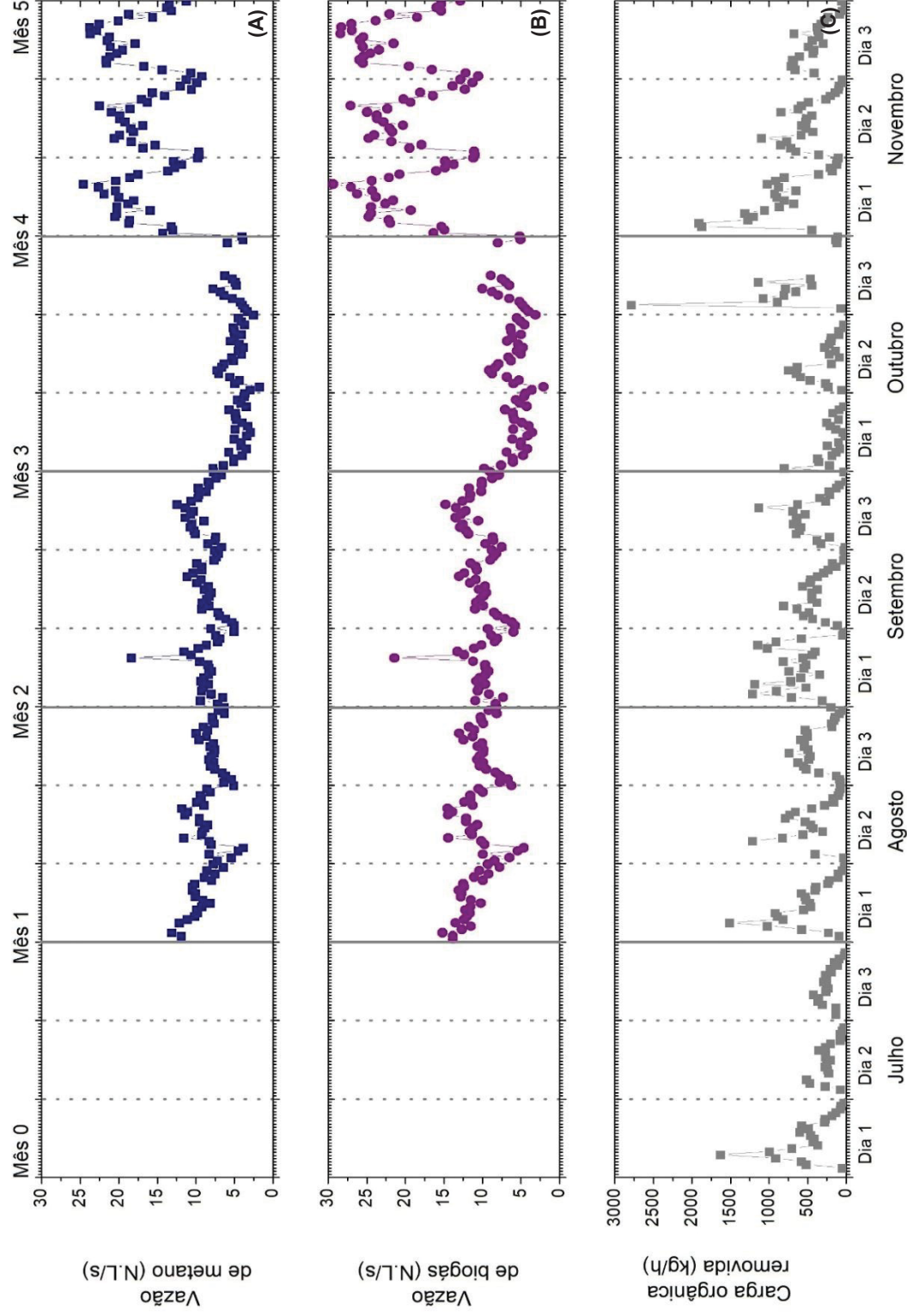
FIGURA 48 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), DQO DO ESGOTO EFLUENTE (C) E DQO DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

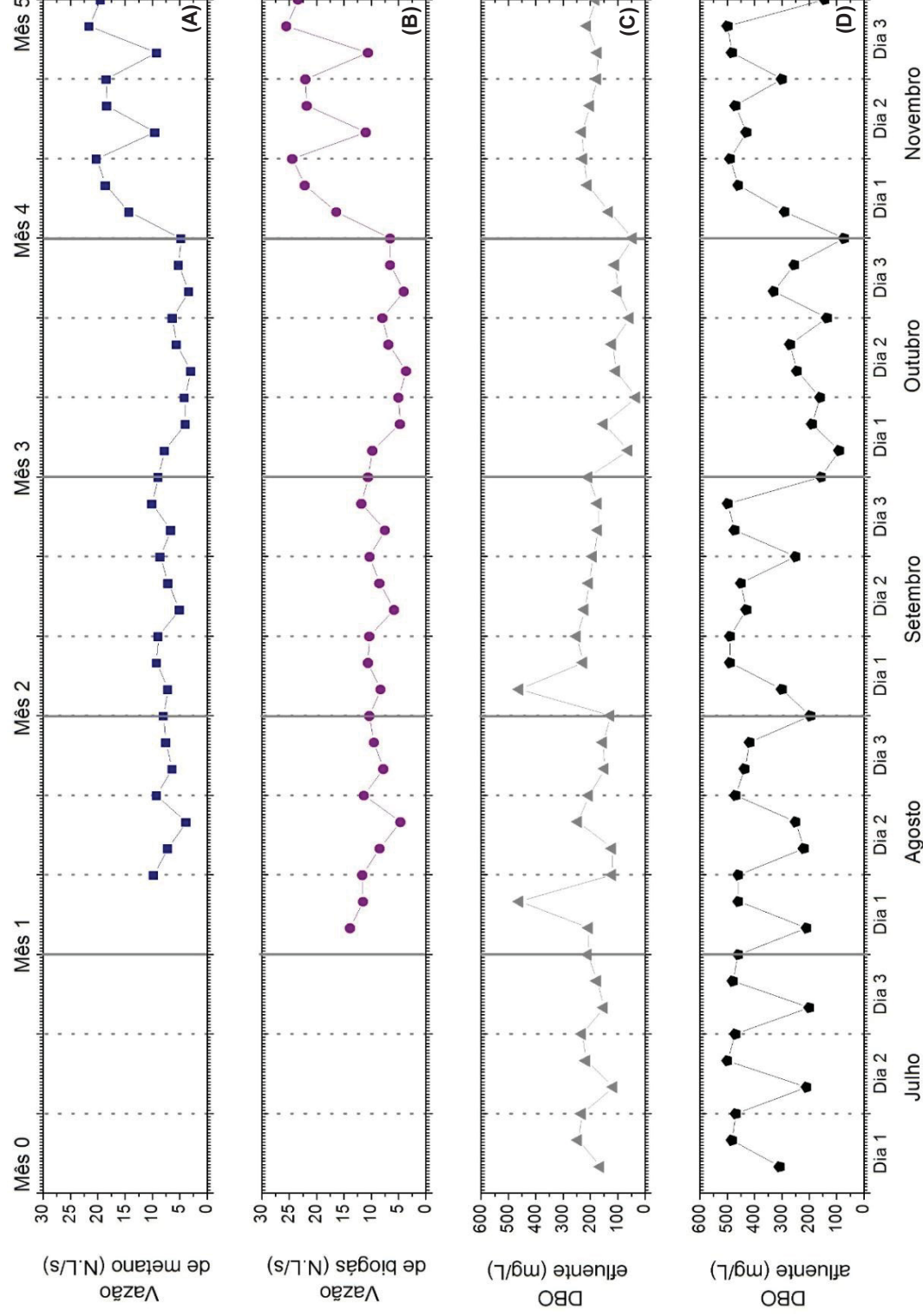


FIGURA 49 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), CARGA ORGÂNICA REMOVIDA (C) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

FIGURA 50 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), DBO DO ESGOTO EFLUENTE (C) E DBO DO ESGOTO AFLUENTE (D) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES

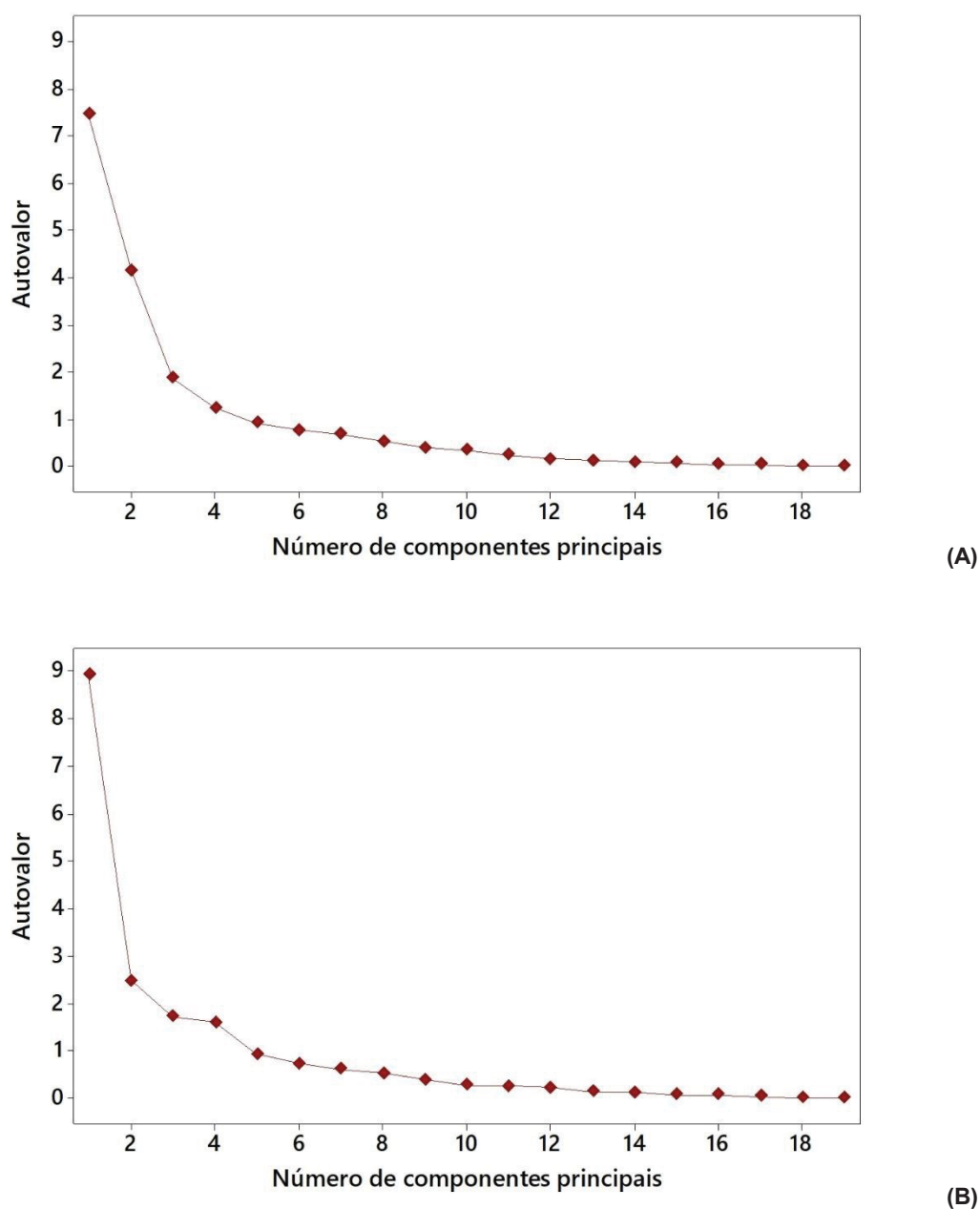


Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.



Visando corroborar as correlações de Spearman, foram realizadas análises estatísticas multivariadas de componentes principais (PCA). Todas as variáveis foram padronizadas para serem tratadas com igual significância. Para seleção dos componentes principais (CP) utilizou-se o critério de Kaiser, selecionando apenas aqueles com autovalores superiores a 1. Assim, como pode ser visualizado na FIGURA 51, os quatro primeiros CP explicaram a maioria da variabilidade dos dados, visto que seus autovalores foram superiores a 1.

FIGURA 51 – GRÁFICO SCREEN PLOT PARA O AFLUNTE (A) E GRÁFICO SCREEN PLOT PARA O EFLUENTE (B)



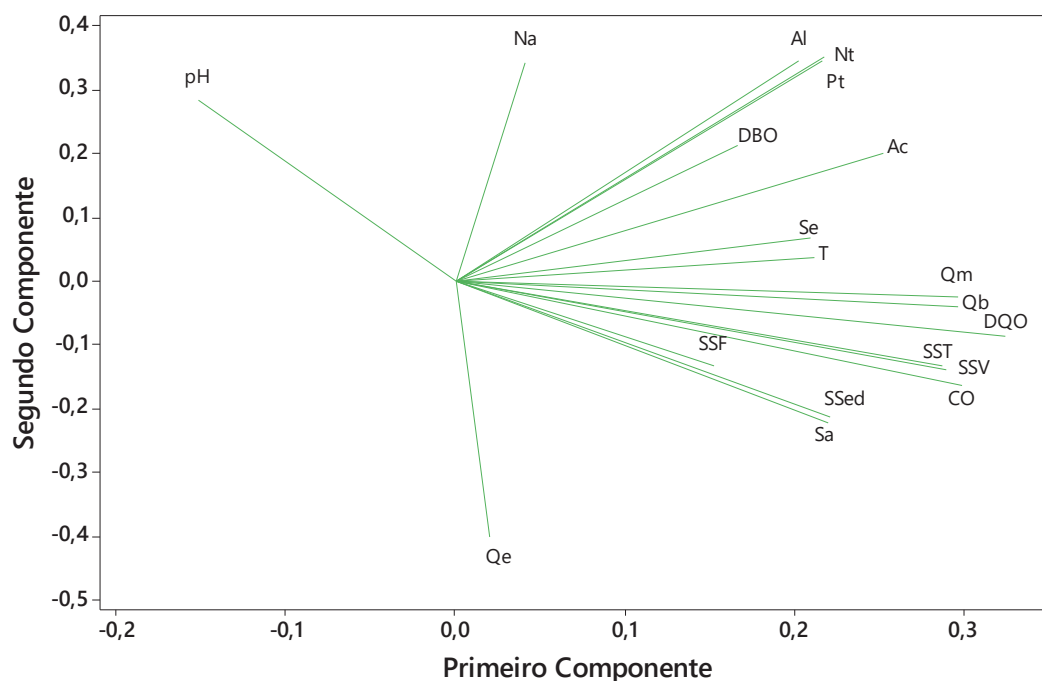
Os resultados da PCA obtidos para os parâmetros do esgoto afluente encontram-se expressos na TABELA 38. Na FIGURA 52 estão apresentadas as variáveis do afluente que possuem maior influência sobre cada CP.

TABELA 38 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA O AFLUENTE

	Variável	CP1	CP2	CP3	CP4
		39,3%	21,9%	9,8%	6,5%
1	Vazão de biogás (NL/s)	<b>0,297</b>	-0,040	<b>0,321</b>	0,172
2	Vazão de metano (NL/s)	<b>0,296</b>	-0,025	<b>0,333</b>	0,170
3	Acidez (mg/L)	<b>0,252</b>	<b>0,200</b>	-0,112	-0,084
4	Alcalinidade (mg/L)	<b>0,203</b>	<b>0,346</b>	-0,089	-0,156
5	pH	-0,152	<b>0,285</b>	-0,050	<b>0,281</b>
6	Temperatura (°C)	<b>0,212</b>	0,035	<b>0,484</b>	-0,033
7	SSed (mL/L)	<b>0,222</b>	<b>-0,214</b>	0,096	<b>-0,282</b>
8	SST (mg/L)	<b>0,290</b>	-0,140	<b>-0,310</b>	0,199
9	SSF (mg/L)	0,153	-0,132	<b>-0,367</b>	<b>0,409</b>
10	SSV (mg/L)	<b>0,288</b>	-0,134	<b>-0,244</b>	0,113
11	Sulfato (mg/L)	<b>0,220</b>	<b>-0,222</b>	0,100	<b>-0,460</b>
12	Sulfeto (mg/L)	<b>0,209</b>	0,067	0,149	<b>0,375</b>
13	Nitrogênio total (mg/L)	<b>0,217</b>	<b>0,346</b>	-0,003	0,071
14	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	0,041	<b>0,343</b>	<b>-0,343</b>	<b>-0,351</b>
15	Fósforo total (mg/L)	<b>0,217</b>	<b>0,351</b>	0,055	0,056
16	Vazão de esgoto (L/s)	0,020	<b>-0,402</b>	-0,063	-0,009
17	DQO (mg/L)	<b>0,325</b>	-0,087	-0,190	-0,160
18	CO removida (kg/h)	<b>0,299</b>	-0,163	-0,186	-0,012
19	DBO (mg/L)	0,167	<b>0,212</b>	0,031	-0,144

Nota: Os valores em vermelho correspondem as variáveis que mais se correlacionaram com os componentes principais gerados. Valores entre -0,2 e 0,2 foram considerados menos influentes, assim, não foram contabilizados.

FIGURA 52 – GRÁFICO DE CARGAS FATORIAIS PARA O AFLUENTE



Com os resultados obtidos para o esgoto afluente, nota-se pela TABELA 38 que o CP1 explica aproximadamente 39,3% das associações, o CP2 explica 21,9%, o CP3 explica 9,8% e o CP4 explica 6,5%.

Como pode ser verificado na FIGURA 52 os parâmetros que obtiveram maior relevância no CP1 foram vazão de biogás (Qb), vazão de metano (Qm), SST, SSV, DQO e carga orgânica (CO). Já no CP2 foram alcalinidade (Al), nitrogênio total (Nt), nitrogênio amoniacal (Na), fósforo total (Pt) e vazão de esgoto (Qe), sendo que este último associou-se de forma inversamente proporcional. Como os valores do CP3 e do CP4 apresentaram proporção inferior a 10%, não foram aqui exemplificados, uma vez que, de acordo com o critério de Kaiser, somente os componentes que explicam mais de 10% da variação total necessitam serem apresentados e discutidos (BRITO et al. 2018).

Os resultados da PCA corroboraram com aqueles obtidos anteriormente, referente às correlações de Spearman, onde a maioria dessas variáveis apresentaram correlações moderadas. Cabe destacar ainda que, nenhum dos parâmetros apresentaram peso discrepante nos componentes principais gerados. Com isso é possível afirmar que todas as variáveis destacadas em vermelho (TABELA 38) representam de forma semelhante a variação total dos dados.

Ademais, os resultados da PCA e das correlações de Spearman para o esgoto afluente (FIGURA 52), estão de acordo com os resultados do Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS) (FIGURA 12), onde a vazão de biogás se correlaciona positivamente com a concentração de DQO afluente e com a carga orgânica removida, e a vazão de esgoto, se correlaciona negativamente.

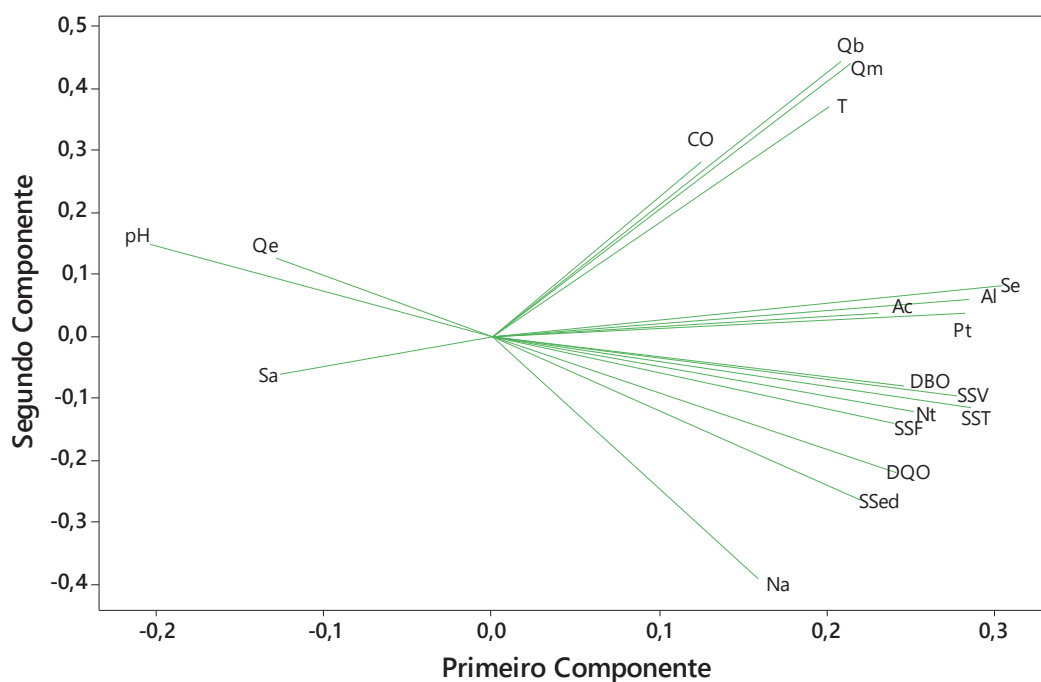
Os resultados da PCA para os parâmetros do esgoto efluente encontram-se expressos na TABELA 39. Na FIGURA 53 estão apresentadas as variáveis do efluente que têm maior efeito em cada componente principal.

TABELA 39 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA O EFLUENTE

	Variável	CP1	CP2	CP3	CP4
		47,1%	13,1%	9,1%	8,4%
1	Vazão de biogás (NL/s)	0,208	0,444	0,007	-0,108
2	Vazão de metano (NL/s)	0,215	0,441	0,015	-0,079
3	Acidez (mg/L)	0,285	0,060	0,241	0,087
4	Alcalinidade (mg/L)	0,305	0,083	0,210	0,015
5	pH	-0,204	0,150	-0,154	0,063
6	Temperatura (°C)	0,202	0,370	-0,102	0,262
7	SSed (mL/L)	0,220	-0,265	-0,285	0,063
8	SST (mg/L)	0,286	-0,117	-0,323	0,026
9	SSF (mg/L)	0,241	-0,141	-0,269	0,003
10	SSV (mg/L)	0,278	-0,098	-0,315	0,033
11	Sulfato (mg/L)	-0,127	-0,060	0,128	-0,356
12	Sulfeto (mg/L)	0,231	0,037	0,292	-0,111
13	Nitrogênio total (mg/L)	0,252	-0,121	0,203	-0,271
14	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	0,159	-0,392	0,121	-0,377
15	Fósforo total (mg/L)	0,282	0,038	0,258	-0,106
16	Vazão de esgoto (L/s)	-0,129	0,126	-0,419	-0,446
17	DQO (mg/L)	0,242	-0,220	-0,062	-0,050
18	CO removida (kg/h)	0,125	0,282	-0,277	-0,449
19	DBO (mg/L)	0,246	-0,082	-0,160	0,356

Nota: Os valores em vermelho correspondem as variáveis que mais se correlacionaram com os componentes principais gerados. Valores entre -0,2 e 0,2 foram considerados menos influentes, assim, não foram contabilizados.

FIGURA 53 – GRÁFICO DE CARGAS FATORIAIS PARA O EFLUENTE



Com os resultados obtidos para o esgoto efluente, nota-se pela TABELA 39 que o CP1 explica aproximadamente 47,1% das correlações, o CP2 explica 13,1%, o CP3 explica 9,1 % e o CP4 explica 8,4%.

Como pode ser verificado na FIGURA 53 os parâmetros que obtiveram maior associação no CP1 foram acidez (Ac), alcalinidade (Al), SST, SSV, fósforo total (Pt), DBO e DQO. No CP2 as variáveis mais significativas foram vazão de biogás (Qb), vazão de metano (Qm), temperatura (T) e nitrogênio amoniacal (Na), sendo que este último se associou de forma negativa. Os valores do CP3 e do CP4 apresentaram proporção inferior a 10%, assim, não foram aqui citados.

Como para o esgoto afluente, os resultados obtidos para o efluente validam as correlações de Spearman apresentadas anteriormente, e as variáveis destacadas em vermelho (TABELA 39) representam de forma semelhante a variação total dos dados, demonstrando que os diversos parâmetros da fase líquida que apresentaram correlações moderadas, possuem influência semelhante sobre a produção de biogás e de metano.

## 4.2 AVALIAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE O BIOGÁS PRODUZIDO E OS DIVERSOS PARÂMETROS DA FASE SÓLIDA

Neste subcapítulo são apresentadas as estatísticas descritivas do biogás e de alguns parâmetros da fase sólida, bem como gráficos contendo seus respectivos comportamentos temporais. Na sequência, também são apresentadas as correlações entre as diversas variáveis da fase gasosa e sólida, avaliando quais os principais influentes e interferentes na produção do biogás.

### 4.2.1 Correlações entre produção de biogás e DQO e sólidos do lodo biológico

Quanto à DQO, o lodo avaliado apresentou valor médio de  $(60,95 \pm 5,26)$  g.L<sup>-1</sup>. Na TABELA 40 tem-se as estatísticas descritivas desses dados.

TABELA 40 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE DQO DO LODO

Parâmetros	DQO (g.L <sup>-1</sup> )
Média	60,96
Mediana	59,20
Desvio padrão	35,26
Máximo	163,52
Mínimo	11,20
Número de amostras	45

Observando-se a FIGURA 54 percebe-se que o comportamento da DQO é variável ao longo do tempo e apresenta mínimos e máximos em horários distintos do dia.

Como pode ser verificado na TABELA 41, os coeficientes de Spearman indicam que as correlações entre a DQO do lodo e as duas variáveis do gás (vazão de biogás e vazão de metano), são muito fracas e inversamente proporcionais. Além disso, os valores de  $p$  obtidos (0,372 e 0,441) são superiores ao nível de significância adotado ( $\alpha = 0,05$ ), indicando que as correlações não são estatisticamente significativas.

TABELA 41 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA DQO DO LODO BIOLÓGICO

Parâmetros	DQO lodo biológico
Vazão de biogás	-0,153
Vazão de metano	-0,137

Com relação aos sólidos do lodo, a média de ST foi de  $(5,17 \pm 3,04)\%$  m/m. Deste total, a média de STV foi de  $(3,76 \pm 2,16)\%$  m/m e a média de STF foi de  $(1,41 \pm 0,91)\%$  m/m. A TABELA 42 apresenta as estatísticas descritivas dos dados de sólidos.

Segundo von Sperling e Gonçalves (2001), o lodo oriundo de reatores UASB geralmente apresenta concentrações de sólidos totais de 3 a 6%. Comparando esta faixa com a apresentada pela ETE objeto de estudo, percebe-se que os valores de sólidos obtidos estão dentro do reportado na literatura.

TABELA 42 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE ST, STF E STV DO LODO

Parâmetros	ST (% m/m)	STF (% m/m)	STV (% m/m)
Média	5,17	1,41	3,76
Mediana	4,76	1,27	3,49
Desvio padrão	3,04	0,91	2,13
Máximo	21,17	6,22	14,95
Mínimo	2,05	0,51	1,54
Número de amostras	45	45	45

A relação entre SVT/ST indicou média de  $(0,73 \pm 0,02)$ , sendo que este valor encontra-se dentro da faixa de 0,55 e 0,80 indicada por von Sperling e Gonçalves (2001) e Jordão e Pessoa (2011) para lodo anaeróbio oriundo de reatores do tipo UASB.

O valor obtido indica também que o lodo amostrado encontra-se quase estabilizado (não apresenta potencial de geração de odores e atratividade de vetores), podendo certamente ser utilizado na agricultura após higienização, uma vez que a Resolução Conama 375/06 define que para uso agrícola a relação entre sólidos voláteis totais e sólidos totais deve ser inferior a 0,70.



Destaca-se, que como a amostragem foi realizada no perfil do reator, foram amostrados tanto lodo antigo quanto novo, assim provavelmente a relação não atingiu valores inferiores a 0,70 pela presença de lodo recente.

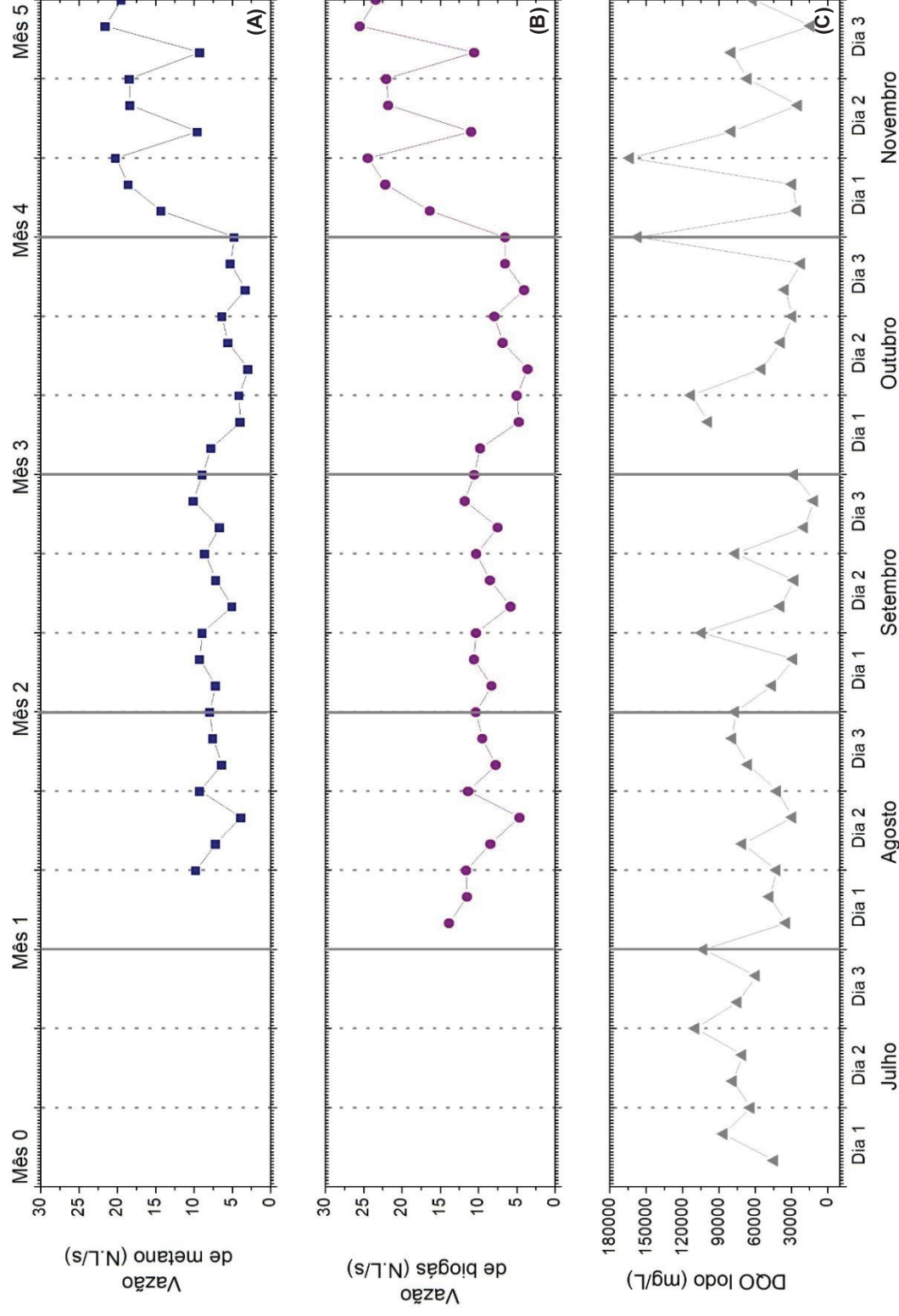
Na FIGURA 55 pode-se verificar o comportamento característicos dos ST, STF e STV do lodo biológico, sendo que para os três parâmetros verifica-se pequenas amplitudes ao longo do tempo, diferentemente do constatado para produção de biogás e de metano.

Ademais, na TABELA 43 estão apresentadas correlações de Spearman entre ST, STF e STV do lodo com vazão de biogás e de metano, as quais indicaram correlações nulas ou muito baixas. Além disso, os valores de  $p$  obtidos foram maiores do que o nível de significância de 0,05, indicando que há evidências inconclusivas sobre a significância da associação entre as variáveis.

TABELA 43 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA ST, STF E STV DO LODO BIOLÓGICO

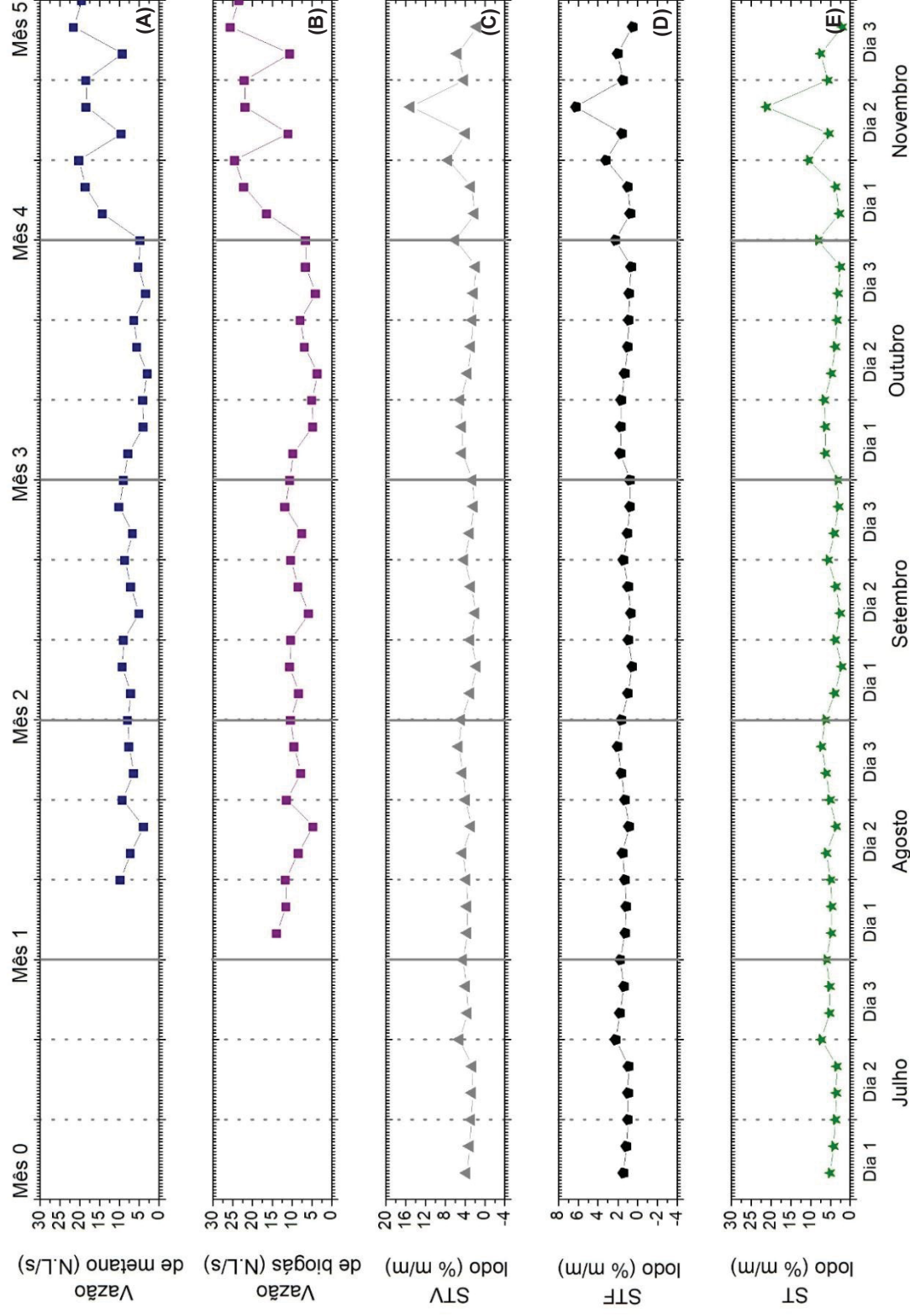
Parâmetros	ST	STF	STV
Vazão de biogás	0,037	0,014	0,042
Vazão de metano	0,019	0,000	0,018

FIGURA 54 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B) E DQO DO LODO (C) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

FIGURA 55 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), STV DO LODO (C), STF DO LODO (D) E ST DO LODO (E) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

#### 4.2.2 Correlações entre produção de biogás e DQO e sólidos da espuma

A respeito da DQO obtida para espuma, o valor médio foi de  $(230,83 \pm 47,70)$  g.L<sup>-1</sup>. Esse valor, encontra-se superior ao identificado por Ross (2015), a qual obteve média de  $(97 \pm 7)$  g.L<sup>-1</sup> de DQO para mesma estação de tratamento. Na TABELA 44 tem-se as estatísticas descritivas dos dados de DQO da espuma. Possivelmente, a divergência entre os valores obtidos e a literatura, deve-se a frequência e a forma de remoção da espuma na ETE, o que influencia na produção, em volume, da espuma gerada.

TABELA 44 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE DQO DA ESCUMA

Parâmetros	DQO (g.L <sup>-1</sup> )
Média	230,84
Mediana	233,28
Desvio padrão	47,70
Máximo	345,84
Mínimo	96,24
Número de amostras	45

Observando o comportamento da DQO da espuma (FIGURA 56), não é possível apenas visualmente explicá-lo, podendo apenas afirmar que o mesmo é variável ao longo do tempo. Referente às correlações com a fase gasosa (TABELA 45), os coeficientes de Spearman indicam correlações positivas fracas entre as variáveis.

TABELA 45 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA DQO DA ESCUMA

Parâmetros	DQO espuma
Vazão de biogás	0,352
Vazão de metano	0,349

Os teores de sólidos totais, voláteis e fixos, avaliados na espuma formada nos reatores anaeróbios do tipo UASB, não apresentaram variações significativas, conforme pode ser verificado na TABELA 46, sendo que a média de ST foi de

(17,29  $\pm$  2,03)% m/m, a de STV foi de (12,87  $\pm$  1,52)% m/m e a de STF foi de (4,42  $\pm$  0,93)%.

De acordo com os resultados, observa-se que a espuma da ETE avaliada, apresenta concentrações de ST e STV similar ao estabelecido na literatura, a exemplo disso, Ross (2015) apresenta concentrações de ST e STV de três ETEs, sendo que uma delas apresentou para ST valor médio de (18,75  $\pm$  3,95) e para STV de (11,86  $\pm$  1,74).

TABELA 46 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS DE ST, STF E STV DA ESCUMA

Parâmetros	ST (% m/m)	STF (% m/m)	STV (% m/m)
<b>Média</b>	17,29	4,42	12,87
<b>Mediana</b>	16,97	4,05	12,99
<b>Desvio padrão</b>	2,03	0,93	1,52
<b>Máximo</b>	22,65	6,41	16,84
<b>Mínimo</b>	14,32	3,09	10,63
<b>Número de amostras</b>	45	45	45

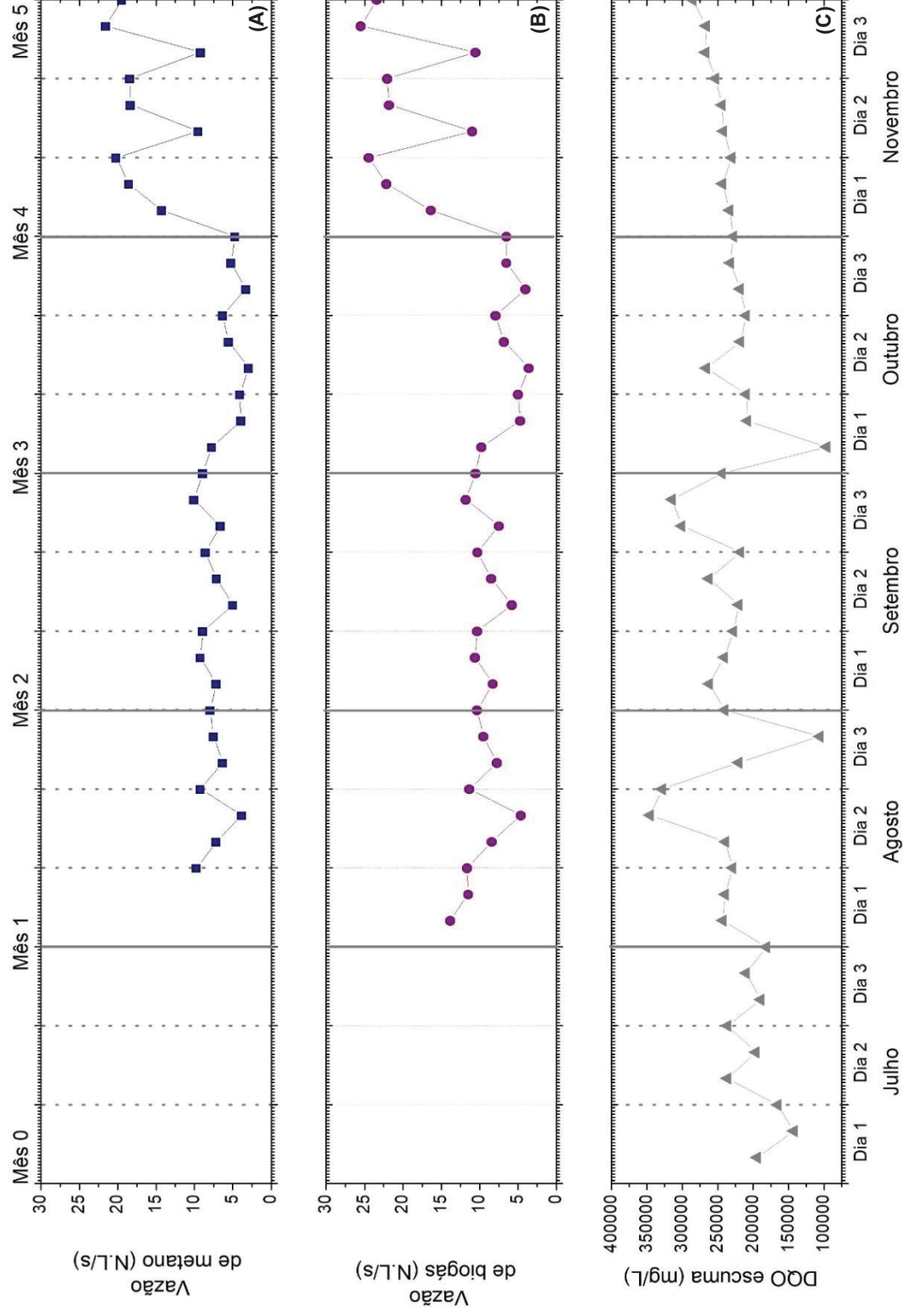
Quanto à relação entre SVT/ST na espuma, foi possível obter valor médio de (0,74  $\pm$  0,04), concluindo-se que a espuma não está estabilizada e deve passar por um processo de digestão, dependendo de seu uso. Além disso, os valores de SVT foram elevados, indicando indiretamente a biomassa presente, em especial a fração orgânica, e retratando ainda a grande similaridade com o lodo biológico produzido, como também reportado por Ross (2015).

O comportamento dos parâmetros de sólidos da espuma estão expressos na FIGURA 57, sendo o mesmo temporal variável, não estacionário, e visualmente sem periodicidade. Na TABELA 47 estão apresentados os valores dos coeficientes de Spearman entre os sólidos da espuma e vazão de biogás e de metano. As correlações obtidas para ST e STF foram positivas moderadas, e para o STV foi estatisticamente insignificativa.

TABELA 47 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA ST, STF E STV DA ESCUMA

Parâmetros	ST	STF	STV
<b>Vazão de biogás</b>	0,498	0,436	0,315
<b>Vazão de metano</b>	0,566	0,575	0,360

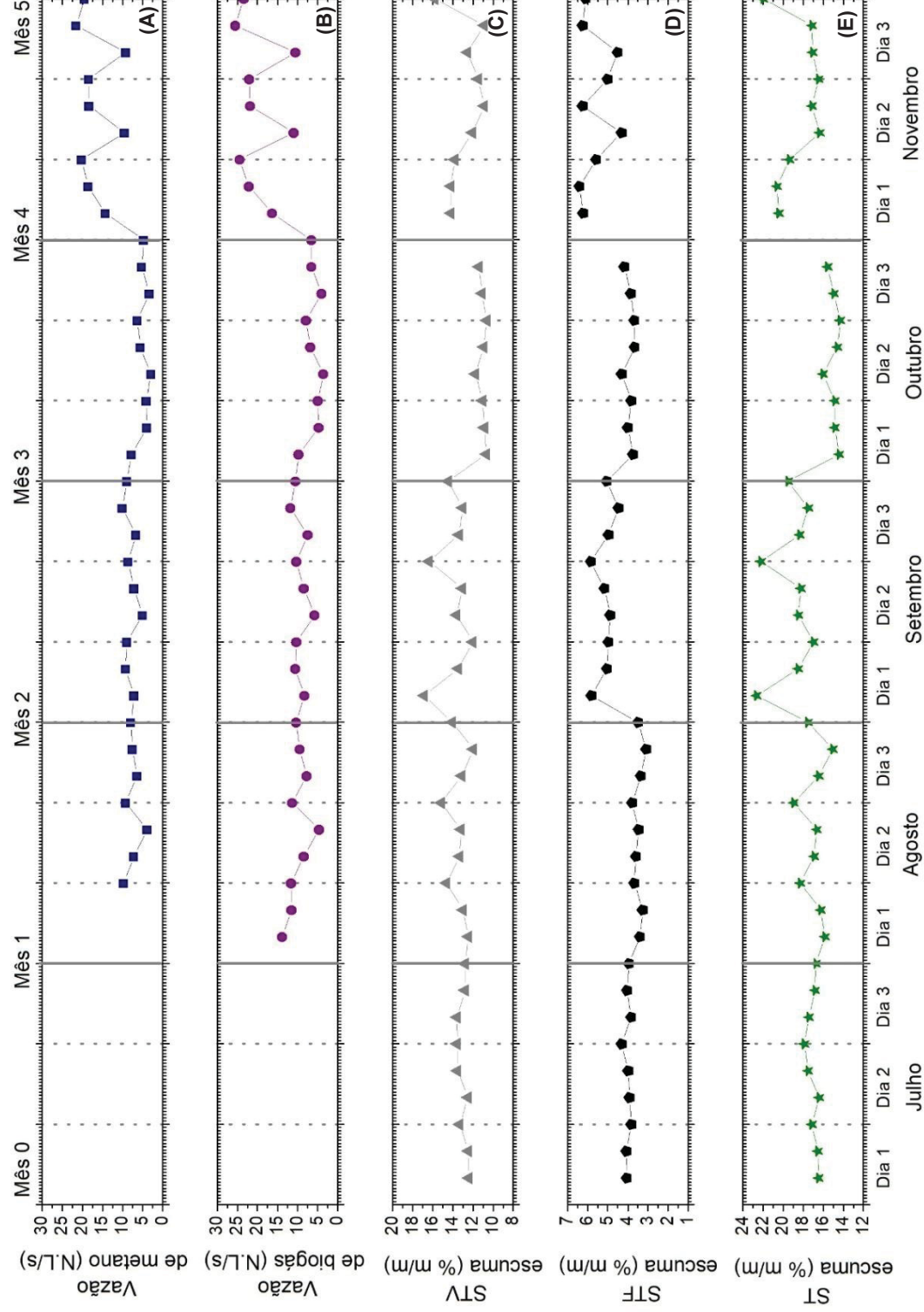
FIGURA 56 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B) E DQO DA ESCUMA (C) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.



FIGURA 57 – CURVAS DE VAZÃO DE METANO (A), VAZÃO DE BIOGÁS (B), STV DA ESCUMA (C), STF DA ESCUMA (D) E ST DA ESCUMA (E) EM FUNÇÃO DO TEMPO PARA UM INTERVALO DE 5 MESES



Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.



### 4.3 AVALIAÇÃO DO BALANÇO DE MASSA EM TERMOS DE DQO

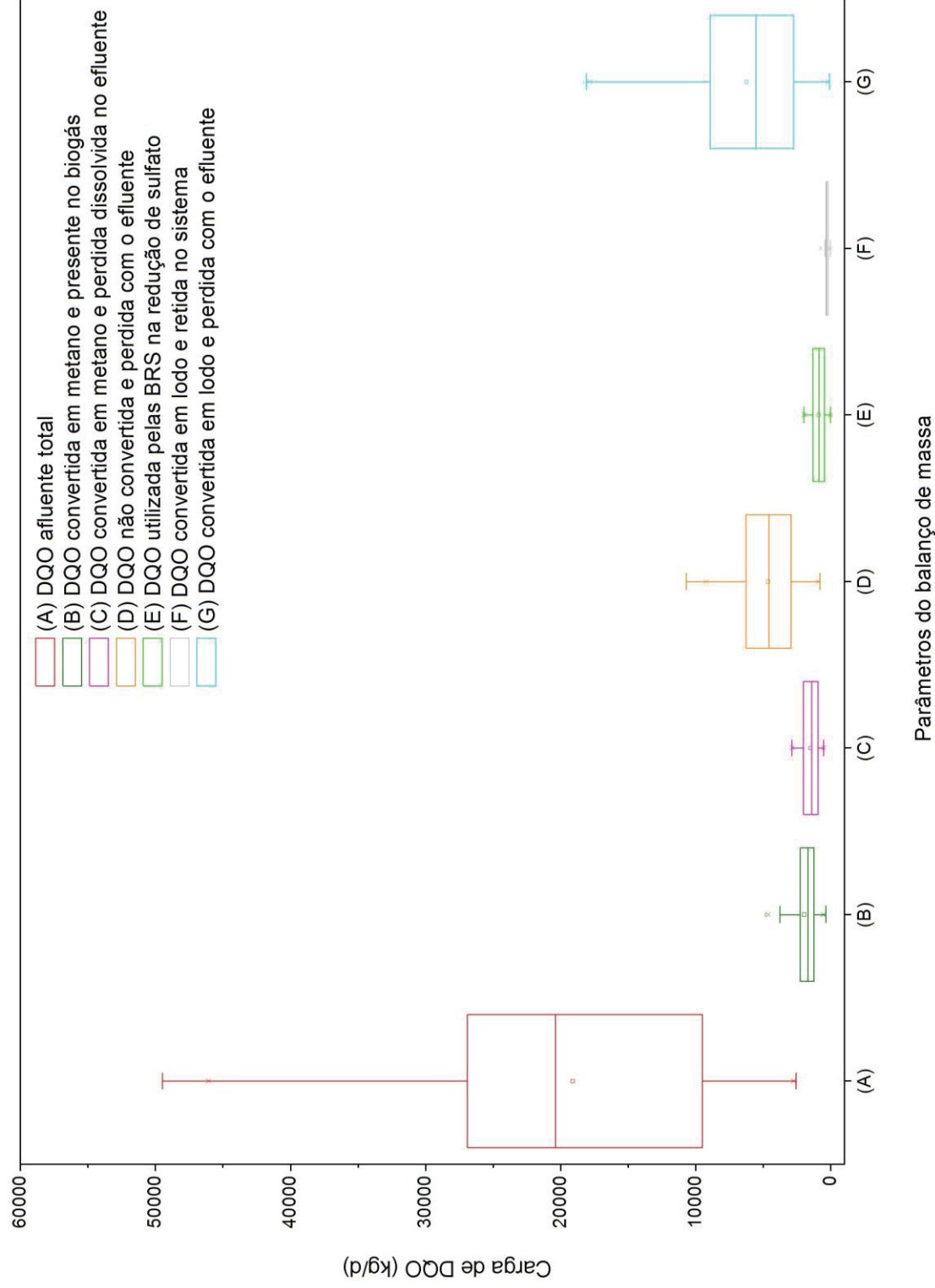
Os dados referentes às cargas de DQO obtidas para cada parcela do balanço de massa, para os seis reatores anaeróbios do tipo UASB, estão apresentados na FIGURA 58, por intermédio de gráficos Boxplot.

Em relação aos resultados, para massa diária de DQO afluenta ao reator, o valor médio obtido foi de  $(19.102,29 \pm 10.848,09)$  kg.d<sup>-1</sup>. A parcela referente à massa diária de DQO convertida em metano e presente no biogás foi, em média, de  $(1.965,63 \pm 1033,66)$  kg.d<sup>-1</sup>.

Da massa diária de DQO convertida em metano e perdida dissolvida no efluente, obteve-se valor médio de  $(1.499,42 \pm 635,11)$  kg.d<sup>-1</sup>. Para a massa diária de DQO não convertida e perdida com o efluente, o valor médio foi de  $(4.629,87 \pm 2.172,56)$  kg.d<sup>-1</sup>.

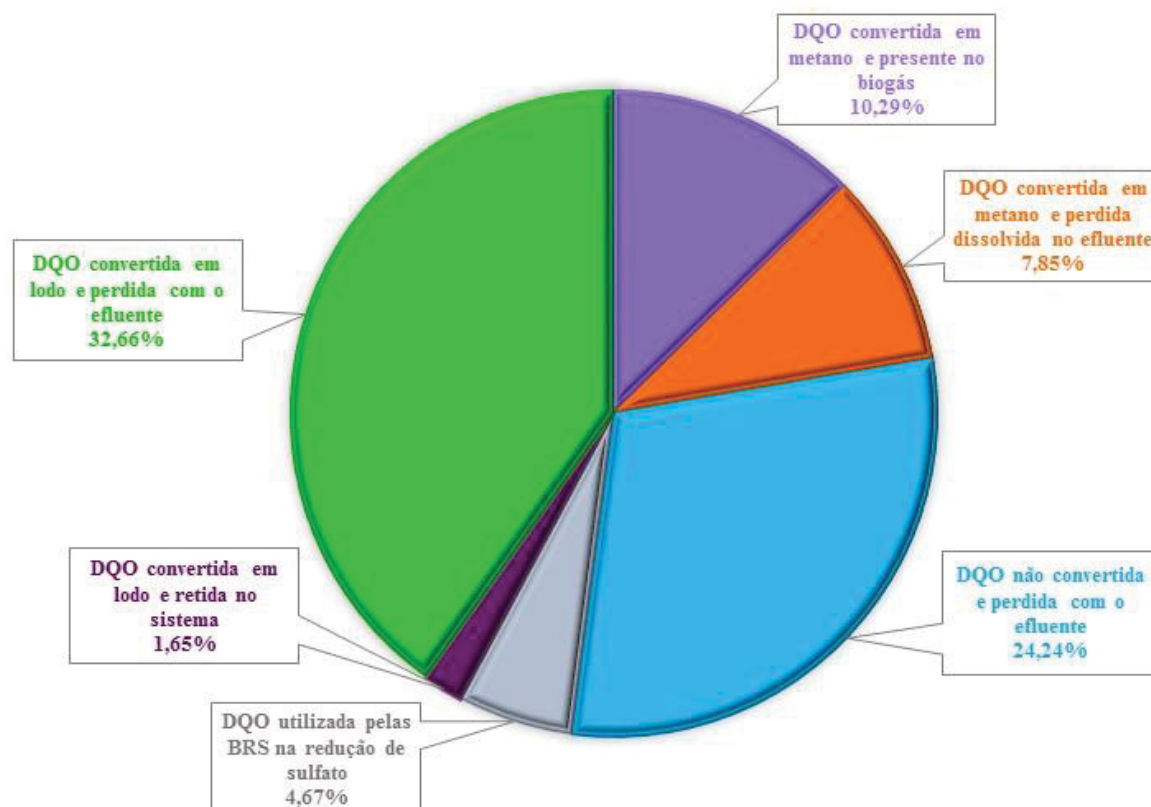
Considerando ainda a utilização da DQO pelas BRS na redução de sulfato, a massa diária de DQO consumida para este fim, foi de  $(892,58 \pm 541,05)$  kg.d<sup>-1</sup>. A parcela correspondente à massa diária de DQO convertida em lodo e perdida com efluente foi em média de  $(6.239,54 \pm 4213,21)$  kg.d<sup>-1</sup>. Já a massa diária de DQO convertida em lodo e retida no sistema foi em média de  $(315,19 \pm 190,34)$  kg.d<sup>-1</sup>.

FIGURA 58 – CARGAS DE DQO OBTIDAS PARA CADA PARCELA DO BALANÇO DE MASSA



Os resultados dos percentuais de cada parcela do balanço de massa estão expressos na FIGURA 59.

FIGURA 59 – REATORES UASB: PERCENTUAIS DO BALANÇO DE MASSA PARA CADA PARCELA DE CONVERSÃO



De modo geral, de toda DQO afluyente ao reator (100%), a maior parte foi convertida em lodo e perda com o efluente, cerca de 32,66%. A DQO não convertida e perda dissolvida com o efluente, também apresentou um percentual significativo no balanço, equivalente a 24,24%. Assim, como relatado por Souza (2010), considerar o crescimento da biomassa sem agregar o lodo perdido no efluente provoca uma subestimação de cerca de 50% do valor total do parâmetro.

A conversão em biomassa retida foi a parcela menos significativa do balanço, apresentando percentual de 1,65%. Esse valor encontra-se bastante inferior ao estabelecido na literatura. Como exemplo disso, Souza (2010) afirma que o lodo retido representou de 8 a 10% do balanço de massa em termos de DQO. Salienta-se que, a determinação dessa parcela apresentou algumas objeções, uma vez que, por tratar-se de uma ETE em escala real, algumas vezes ocorreram descarte de lodo periódico, sem aviso prévio à equipe, interferindo na quantificação do lodo produzido no sistema.

A DQO para utilização na redução de sulfato, também apresentou baixo percentual, equivalente a 4,67%. Os baixos valores para parcela de redução do sulfato podem ser explicados pela concentração de sulfato presente no esgoto afluente ( $51,01 \pm 25,31$ )  $\text{mg.L}^{-1}$ , a qual apresentou valor médio e dentro do esperado. Tal fato também foi relatado por Souza (2010), o qual obteve concentração de sulfato afluente próximo de 42  $\text{mg.L}^{-1}$ , e por Lobato (2011), que utilizou em seus estudos concentrações de sulfato afluente entre 40 e 80  $\text{mg.L}^{-1}$ , obtendo para melhor situação, valor médio de 1.576  $\text{kg.d}^{-1}$ .

A DQO convertida em metano e perda dissolvida junto ao efluente, representou uma pequena parcela (7,85%). Este valor, encontra-se inferior ao apresentado na literatura. Como exemplo, Singh et al. (1996) determinaram que a parcela referente à perda de metano no efluente de reatores do tipo UASB foi de 28 a 39%. Seghezze (2004), indicou que, de todo o metano produzido, a parcela dissolvida no efluente foi de aproximadamente 18%, e Souza e Chernicharo (2011) determinaram que a parcela de metano dissolvido variou entre 36 e 40%.

Dessa forma, nota-se que a parcela de metano dissolvido perdido junto ao efluente varia bastante e, mesmo não sendo a mais representativa no balanço de massa em termos de DQO, deve ser considerada, pois indica perda de potencial energético (LOBATO, 2011).

Além disso, o valor médio de metano dissolvido encontrado no efluente foi de ( $13,40 \pm 3,85$ )  $\text{mg.L}^{-1}$ . Esse valor foi superior ao evidenciado por Gervasoni e Cantão (2011) e Nelting et al. (2017), os quais obtiveram 10 e 8,5  $\text{mg.L}^{-1}$  de metano dissolvido, respectivamente.

Conforme estabelecido por Souza (2010), o metano dissolvido que é perdido junto ao efluente pode ter seu desprendimento controlado, no próprio decantador devidamente fechado e com a fase gasosa controlada, ou em uma unidade externa construída para este fim.

De toda DQO convertida em metano (18,14%) a parcela presente no biogás e disponível para utilização foi de aproximadamente 10,29%, representando perda de potencial energético em torno de 43%. Cabe destacar que, como em alguns meses de monitoramento foram constatados vazamentos nas tubulações de biogás, o cálculo dessa parcela eventualmente pode estar subestimado.

Nota-se que a soma das parcelas de conversão da matéria orgânica dentro sistema totalizaram 81,36%, ou seja, parte da DQO afluente acaba sendo convertida

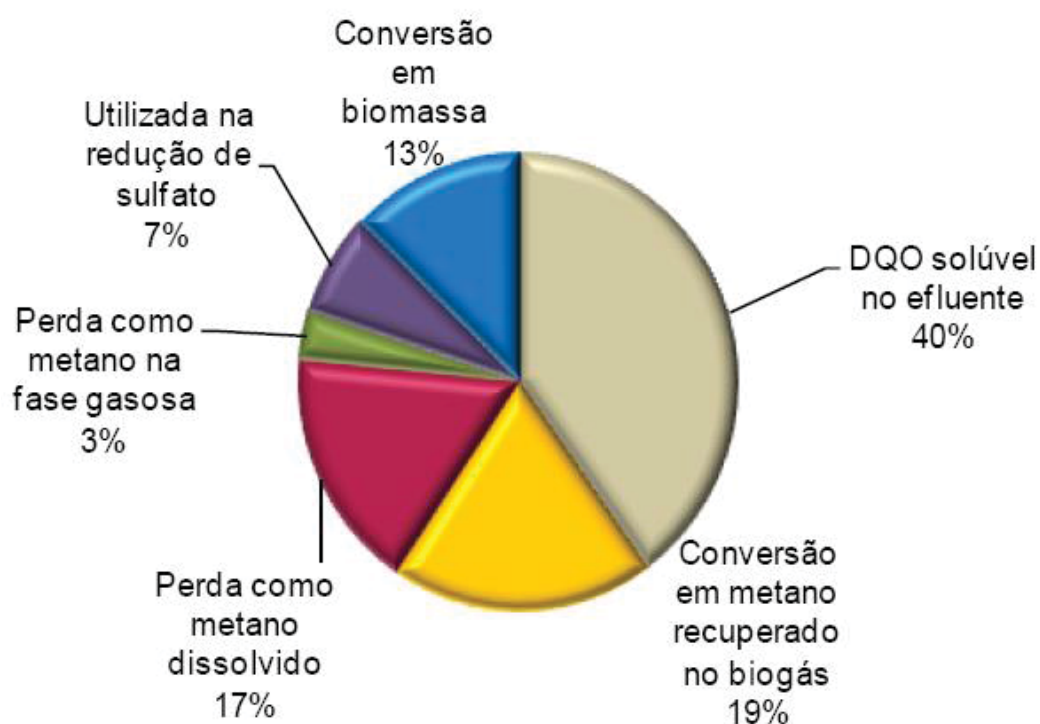
em parcelas que não foram possivelmente mensuráveis, como DQO convertida e perdida para atmosfera, DQO convertida em metano e perdida com o gás residual, dentre outras.

Quando comparado com o modelo apresentado por Lobato (2011) os resultados obtidos melhor enquadram-se na pior situação (FIGURA 60), referente às maiores concentrações de sulfato, menor eficiência de remoção de DQO e maiores índices de perdas de metano (dissolvido no efluente, na fase gasosa e outras).

A maior parcela obtida pela autora refere-se à DQO não convertida e perdida solúvel junto ao efluente, semelhante ao constatado no balanço de massa do presente estudo. A conversão em metano presente no biogás determinada pela autora foi aproximadamente 2 vezes maior, e a conversão em biomassa foi 21,31% menor (a autora considera conversão em biomassa tanto aquela retida no sistema, quanto aquela perdida junto ao efluente).

Tais diferenças provavelmente devem-se à concepção dos reatores, uma vez que a autora realizou simulações em reatores do tipo UASB tradicional e o estudo em questão trata de reatores do tipo UASB modificado.

FIGURA 60 – RESULTADO DAS SIMULAÇÕES DE BALANÇO DE DQO EM REATORES DO TIPO UASB TRATANDO ESGOTO TIPICAMENTE DOMÉSTICO EM RELAÇÃO À DQO AFLUENTE PARA PIOR SITUAÇÃO



FONTE: LOBATO (2011).

Para Souza (2010) os balanços de massa efetuados por meio de medições em reatores em escala piloto e demonstração, indicaram as seguintes faixas relativas à DQO global (aplicada): efluente solúvel (14-24%), lodo no efluente (10-20%), lodo retido (8-10%), CH<sub>4</sub> no biogás (24-30%), CH<sub>4</sub> dissolvido no efluente (16-18%) e redução de sulfato (4,5-5%).

O autor relata ainda que, o aumento no TDH do reator implica diretamente em um aumento do percentual de CH<sub>4</sub> no biogás, sem diminuição do CH<sub>4</sub> dissolvido, e uma diminuição no percentual de DQO efluente solúvel. Tal afirmação, justifica a elevada parcela de DQO efluente solúvel e a pequena parcela de CH<sub>4</sub> no biogás, uma vez que o TDH dos reatores ( $2,00 \pm 1,53$ )h apresentou valor inferior ao TDH de projeto (8h).

## 5 CONCLUSÕES FINAIS

Quanto ao primeiro objetivo específico, “Avaliar as relações entre o biogás produzido e os parâmetros físico-químicos convencionais do esgoto doméstico”, conclui-se que:

- A eficiência do sistema em termos de remoção de SSV e DQO filtrada foi boa, com valores de  $(50,97 \pm 20,61)\%$  e de  $(70,53 \pm 17,01)\%$ , respectivamente, sendo que este último encontra-se dentro do estabelecido na literatura para ETEs localizadas no Brasil, que empregam reatores anaeróbios do tipo UASB para tratamento do esgoto doméstico;
- Pelas análises de correlação efetuadas, os parâmetros do esgoto afluente que apresentaram correlações mais fortes com a produção de biogás foram SSV ( $\rho = 0,624$ ), DQO ( $\rho = 0,590$ ), SST ( $\rho = 0,579$ ), acidez ( $\rho = 0,561$ ), SSed ( $\rho = 0,540$ ) e temperatura ( $\rho = 0,534$ ). Já para o esgoto efluente foram SSV ( $\rho = 0,649$ ), alcalinidade ( $\rho = 0,553$ ), nitrogênio total ( $\rho = 0,544$ ), fósforo total ( $\rho = 0,539$ ) e temperatura ( $\rho = 0,535$ );
- As variáveis do esgoto afluente que tiveram correlações mais fortes com a produção de metano foram temperatura ( $\rho = 0,648$ ), SSV ( $\rho = 0,623$ ), SST ( $\rho = 0,577$ ), DQO ( $\rho = 0,594$ ) e SSed ( $\rho = 0,570$ ). Já para o esgoto efluente foram SSV ( $\rho = 0,664$ ), temperatura ( $\rho = 0,623$ ), alcalinidade ( $\rho = 0,567$ ), fósforo total ( $\rho = 0,545$ ) e SST ( $\rho = 0,535$ );
- Para grande maioria das variáveis medidas o comportamento encontrado foi análogo ao da produção de biogás e de metano, sendo ele temporal variável, periódico e não-estacionário. Contudo, para alguns parâmetros não foi possível afirmar a existência de um comportamento periódico, como para o pH, SSed e fósforo total do esgoto efluente;



- Mesmo as variáveis acima citadas apresentando maior correlação, a grande maioria dos parâmetros mensurados compreenderam resultados próximos e nenhum apresentou peso discrepante, isto é, todas as variáveis que apresentaram correlação com a produção de biogás, possuíram influência análoga, sendo que este fato, foi confirmado pelas análises multivariadas de componentes principais (PCA).

Quanto ao segundo objetivo específico, “Avaliar as relações entre o biogás produzido e alguns parâmetros físico-químicos do lodo e da espuma”; conclui-se que:

- A DQO obtida para o lodo biológico foi em média igual a  $(60,95 \pm 5,26)$  g.L<sup>-1</sup>. As estatísticas descritivas para os sólidos (ST e STV), permitiram constatar que os parâmetros estão dentro dos limites pré-estabelecidos na literatura;
- A respeito da DQO obtida para espuma, o valor médio foi de  $(230,83 \pm 47,70)$  g.L<sup>-1</sup>. Esse valor encontra-se superior ao identificado na literatura, possivelmente pela gestão de remoção desse subproduto. Além disso, os valores de sólidos (ST e STV) encontram-se dentro das faixas reportadas;
- Para o lodo biológico as correlações obtidas entre DQO, ST, SVT, SFT e a produção de biogás e de metano, foram inferiores ao nível de significância adotado ( $\alpha = 5\%$ ). Além disso, apenas por meio dos gráficos não foi possível verificar de forma clara o comportamento da DQO. As concentrações de sólidos apresentaram pequenas amplitudes ao longo do tempo;
- Para espuma as correlações obtidas entre a DQO e a vazão de biogás e de metano foram positivas fracas. Entre ST, STF e os mesmos parâmetros da fase gasosa, foram positivas moderadas, e para o STV foram estatisticamente insignificativas. Além disso, assim como para o lodo, não foi possível verificar de forma clara o comportamento da DQO,

e para o comportamento dos sólidos não foi possível afirmar que existe periodicidade.

Quanto ao terceiro objetivo específico, “Avaliar o equacionamento do balanço de massa em reatores anaeróbios do tipo UASB, em escala real, levando em consideração todas as parcelas e perdas das fases líquida, sólida e gasosa”, conclui-se que:

- Os resultados do balanço de massa global para os reatores anaeróbios do tipo UASB modificado apontam que as parcelas mais expressivas foram de DQO convertida em biomassa e perdida com o efluente (32,66%) e DQO não convertida e perdida solúvel com o efluente (24,24%);
- As parcelas menos significativas do balanço foram DQO convertida em biomassa e retida no sistema (1,65%) e DQO utilizada para redução do sulfato (4,67%). A primeira parcela possivelmente sofreu influência por conta da retirada de lodo na ETE, apresentando valores muito inferiores ao estabelecido na literatura. Já a segunda parcela encontra-se dentro dos limites pré-estabelecidos, uma vez que, o esgoto afluente apresentou concentrações médias de sulfato;
- Da DQO afluente total apenas 10,29% foi recuperada como metano no biogás, representando perda de potencial energético em torno de 43%. Como em alguns meses de monitoramento foram constatados vazamentos nas tubulações de biogás, o cálculo dessa parcela foi subestimado;
- Os resultados obtidos quando comparados com as informações de literatura, evidenciaram que o funcionamento e operação dos reatores adotados em cada ETE, influenciam diretamente nas rotas de conversão da matéria orgânica dentro do sistema, assim, possivelmente a concepção dos reatores do tipo UASB modificado, alteram significativamente o balanço de massa em termos de DQO.

## 6 RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos no trabalho em questão, recomenda-se para a condução de trabalhos futuros:

- A proposição de novos modelos a partir das correlações obtidas entre os parâmetros da fase gasosa e os da fase líquida e sólida, como por exemplo, por meio de redes neurais artificiais;
- O monitoramento para elaboração do balanço de massa em termos de DQO por um período mais longo de tempo, com maior controle sobre a massa de lodo removida dos reatores, e sobre as perdas de biogás que ocorrem por meio das tubulações e das fissuras presentes no concreto da ETE;
- A avaliação das correlações e do balanço de massa em termos de DQO para outras ETEs constituídas de reatores anaeróbios do tipo UASB, visando comparar os resultados almejados.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.648: **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Atlas esgotos – Despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília, 2017.

AGRAWAL, L.K.; HARADA, H.; OKUI, H. Treatment of Dilute Wastewater in a UASB Reactor at a Moderate Temperature: Performance Aspects. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, v. 83, n. 2, p. 179-184, 1997.

AISSE, M.M. Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários. 1. ed. Rio de Janeiro: **ABES**, 2000. 192p.

ALBERTO, M. C. R.; ARAH, J. R. M.; NEUE, H. U.; WASSMANN, R.; LANTIN, R. S.; ADUNA, J. B.; BRONSON, K. F. A sampling technique for the determination of dissolved methane in soil solution. **Chemosphere: Global Change Science**, v.2, p.57-63, 2000.

ALBUQUERQUE, C. G.; TAVARES, R. G.; SILVA, V. P.; BIONE, M. A. A. Relação entre os valores de DQO e DBO da estação de tratamento de esgoto de Peixinhos em Olinda– PE. In: IX Jornada de Ensino e Pesquisa e Extensão, 2009, Recife. **Anais da IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFPRE), 2009.

ALMEIDA, P. G. S.; BRESSANI RIBEIRO, T.; SILVA, B. S.; AZEVEDO, L. S.; CHERNICHARO, C. A. L. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 6: Qualidade do Efluente. **Revista DAE – edição especial**, v. 66, n. 214, p. 90-108, 2018.

ALVES, G. P. M.; FONINI, A.; GIRARDELLO, V.; THOMÉ, A. Caracterização do esgoto sanitário coletado na cidade de Passo Fundo – RS. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**. n. 10, p. 25 – 29, 2007.

ANDRADE NETO, C. O.; CAMPOS, J. R. Introdução. In: CAMPOS, J.R (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES/Projeto PROSAB. Cap. 1, p. 1 – 28, 1999.

ANTUNES, R. M. V. **Contribuição para o Estudo de Odores em Estações de Tratamento de Águas Residuais Urbanas**. 2006. 299 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. 2006.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. New York: 21th Ed. 2012.

AQUIM, P. M. **Balanço de massa: uma ferramenta para otimizar os processos de ribeira e curtimento**. 2007. 137 p. Dissertação – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2007.

AVELLAR, L. H. N. **A valorização dos subprodutos agroindustriais visando a cogeração e a redução da poluição ambiental**. 2001. 111 p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, 2001.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Medidores de Regime Crítico** - In: Manual de Hidráulica. São Paulo, Ed. Edgard Blucher Ltda. Cap.29. p.488 – 502. 1973.

BAETTKER, E. C. **Avaliação do comportamento de reator anaeróbio tipo UASB no tratamento de lixiviado de aterro sanitário combinado com esgoto sanitário**. 2017. 117 p. Qualificação II (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2017.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 2.ed. São Paulo: Ícone, 2003, 106 p.

BEM, C. C.; KNAPIK, H. G.; FERNANDES, C. V. S.; BRAGA, M. C. B.; AZEVEDO, J. C. R. Características da Matéria Orgânica — Estudo Comparativo de Padrões de Espectrometria de Fluorescência e UV-Vis de Rio e Lago em Bacias Urbanizadas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 18, p. 135 – 147, 2013.

BITTENCOURT, S. **Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução CONAMA 375/06**. 2014. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Paraná, 2014.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). São Paulo, 1 ed. 764 p. 1993.

BRASIL – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades/Probiogás. Resultados do projeto de medições de biogás em reatores anaeróbios. Brasília, Distrito Federal: Ministério das Cidades, 2017. 128 p.

BRITO, I. A. ; GARCIA, J. R. E. ; SALAROLI, A. B. ; FIGUEIRA, R. C. L. ; MARTINS, C. C. ; CORDEIRO NETO, A. ; GUSSO-CHOUERI, P. K. ; CHOUERI, R. B. ; ARAUJO, S. B. L. ; RIBEIRO, C. A. O. . Embryo toxicity assay in the fish species *Rhamdia quelen* (Teleostei, Heptaridae) to assess water quality in the Upper Iguaçu Basin (Paraná, Brazil). **Chemosphere**, v. 208, p. 207-218, 2018.

CABRAL, C. B. G. **Avaliação da produção de biogás para fins energéticos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário**. 2016. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2016.

CAMPELLO, R. P. **Desempenho de reatores anaeróbios de manto de lodo (UASB) operando sob condições de temperatura típicas de regiões de clima temperado**. 2009. 107 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS), 2009.

CAMPOS, C. M. M.; CARMO, F. R.; BOTELHO, C.G.; COSTA, C. C. Development and operation of na upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) treating liquid effluent from swine manure in laboratory scale. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 140 – 147, 2006.

CAMPOS, C.M.M.; LUIZ, F.A.R.L.; BOTELHO, C. G.; DAMASCENO, L.H.S. Avaliação da eficiência do reator UASB tratando efluente de laticínio sob diferentes cargas orgânicas. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 28, n.6, p. 1376-1384, 2004.

CARSTEA, E. M. Fluorescence spectroscopy as a potential tool for in-situ monitoring of dissolved organic matter in surface water systems. In: BALKIS, N. (Editor). **Water Pollution**. Intech. p. 47-68. 2012.

CHEN, Jun; CHEN, Tong-bin; GAO, Ding; LEI, Mei; ZHENG, Guo-Di; LIU, Hong-Tao; GUO, Song-Lin; CAI, Lu. Reducing H<sub>2</sub>S production by O<sub>2</sub> feedback control during largescale sewage sludge composting. **Waste Management**, China, v. 31, n. 1, p. 65 – 66, 2011.

CHERNICHARO, C. A. L. **Inovações no tratamento anaeróbio de efluentes**. Palestra proferida no CEHPAR – UFPR. Curitiba, PR: 2005.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais (UFPR). 380 p. 2011.

CHERNICHARO, C. A. L., VAN LIER, J. B., NOYOLA, A., BRESSANI-RIBEIRO, T. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. **Environmental Science and Biotechnology**, v.14, p. 649–679, 2015.

CHERNICHARO, C. A. L.; ALMEIDA, P. G. S.; COUTO T. C.; SOUZA, C. L.; BORGES, J. M. Contribuição para a melhoria do projeto e da operação de reatores UASB tratando esgotos domésticos: gerenciamento da espuma. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009, Recife. **Anais...** ABES: 2009.

CHERNICHARO, C. A. L.; BRESSANI RIBEIRO, T.; PEGORINI, E. S.; POSSETTI, G. R. C.; MIKI, M. K.; SOUZA, S. N. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 1: Tópicos interessantes. **Revista DAE – edição especial**, v. 66, n. 214, p. 5-16, 2018.

CHERNICHARO, C. A. L.; BRESSANI-RIBEIRO, T.; GARCIA, G. B.; LERMONTOV, A.; PLATZER, C. J.; POSSETTI, G. R. C.; ROSSETO, M. A. L. L. R. Panorama do

tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. **Revista DAE**. v. 66, n. 213, p. 5 – 19, 2018.

CHERNICHARO, C. A. L.; VAN HAANDEL, A.; AISSE, M. M.; CAVALCANTI, P. F. F. Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo. In: CAMPOS, J.R (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB. Cap. 7, p. 155 – 198, 1999.

CHERNICHARO, C. A. L.; VAN LIER, J. B.; NOYOLA, A.; BRESSANI RIBEIRO, T. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. Reviews In **Environmental Science And Biotechnology**. v. 14, n. 4, p. 649 – 679, 2015.

CONAMA - Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CONAMA - Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

CONSTANT, M.; NAVEAU, H.; FERRERO, G. L.; NYNS, E. J. Biogas end-use in the European Community. **Elsevier Science Publisher**. 1989.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto**. 2006. 176 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2006.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.

DIRECTINDUSTRY. **Cromatógrafo Perkin Elmer**. Disponível em: <<http://www.directindustry.com/pt/prod/perkinelmer/product-14711-438334.html>>. Acesso em: 20 de jul. 2018.

DUARTE, O. A. H. **Avaliação dos Métodos de Caracterização do Desempenho de Reatores UASB, em Escala Plena, Incluindo a Geração de Biogás no Tratamento do Esgoto Sanitário**. 2018. Qualificação III (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2018.

DUARTE, O. A. H.; PAULA, A. C.; CANTÃO, M. P.; POSSETTI, G. R. C.; AISSE, M. M. Avaliação da vazão de biogás produzido em reator anaeróbio do tipo UASB, mensurado por medidores do tipo vórtex e dispersão térmica. In: XIV Simpósio Ítalo-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2018.

DUARTE, O. A. H.; POSSETTI, G. R. C.; CANTÃO, M. P. AISSE, M. M. Medição *in situ* e em tempo real da Demanda Química de Oxigênio em uma Estação de



Tratamento Anaeróbio de Esgoto. In: Congresso ABES FENASAN. **Anais...**São Paulo, 2017.

DUARTE, O. A. H.; RIETOW, J. C.; POSSETTI, G. R. C.; CANTÃO, M. P. AISSE, M. M. Comparação da medição da vazão de esgoto na calha Parshall de uma ETE realizada por meio de medição manual e por medidor ultrassônico. In: I Congresso Internacional de Engenharia de Saúde Pública e de Saúde Ambiental. **Anais...** Belém, 2017.

EGHBAL, M. A.; PENNEFATHER, P. S.; O'BRIEN, P. J. H<sub>2</sub>S cytotoxicity mechanism involves reactive oxygen species formation and mitochondrial depolarization. **Toxicology**, Canada, v. 203, n. 1 - 3, p. 69 – 70, 2004.

ESTEVES, F. D. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; VAN HAANDEL, A.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J.R (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES/Projeto PROSAB, Cap. 2, p. 29 – 52, 1999.

FORESTI, E.; ZAIAT, M.; VALLERO, M. Anaerobic processes as the core technology for sustainable domestic wastewater treatment: consolidated applications, new trends, perspectives and challenges. Reviews in **Environmental Science and Bio/Technology**, 3 – 19 p. 2006.

FRANÇA JUNIOR, A. T. **Análise do aproveitamento energético do biogás produzido numa estação de tratamento de esgoto**. 2008. 151 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira (UNESP), 2008.

FRARE, L. M., GIMENES, M. L., PEREIRA, N. C. Processo para remoção do ácido sulfídrico de biogás. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 167-172, 2009.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde. Brasília, 2004.

GERVASONI, R.; CANTÃO, M. P. Produção de metano a partir da digestão anaeróbia: relação entre teoria e prática. **Espaço energia** 15, 13-20, 2011.

GLORIA, R. M.; SOUZA, C. L.; AQUINO, S. F.; MOURA, R. I. V.; CHERNICHARO C.A.L. Quantificação das taxas de geração de H<sub>2</sub>S no biogás e gás residual de reatores UASB. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013, Goiânia. **Anais...** ABES: 2009.

HARTLEY, K.; LANT, P. Eliminating Non-Renewable CO<sub>2</sub> Emissions From Sewage Treatment: An Anaerobic Migrating Bed Reactor Pilot Plant Study. **Biotechnology and Bioengineering**, v.95, n.3, p.384-398, 2006.

IBIAPINO, R. P.; CASTRO, K. S.; BRASILEIRO JUNIOR, V. L.; PEREIRA, W. B. Problemática do esgotamento sanitário na cidade de Monteiro PB – Aplicação da matriz SWOT. In: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2017. **Anais...** Campo Grange – MS, 2017.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2014: **Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.

JACOBS, M. B. Manufacture and analysis of carbonated beverages. **Chemical Publishing.** 1959.

JIRKA, A. M.; CARTER, M. J. **Analytical Chemistry.** 47(8), 1975.

JORDÃO, E. J.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 6ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 1050 p., 2011.

KELLER, J.; HARTLEY, K. Greenhouse gas production in wastewater treatment: process selection is the major factor. **Water Science and Technology**, v. 47, n. 12, p. 43 48, 2003.

KOGA, P. **Geração de energia renovável a partir dos subprodutos de uma estação de tratamento anaeróbia de esgotos.** 2016. 141 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial). Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2016.

KORSAK, L. **Anaerobic Treatment of Wastewater in a UASB reactor.** Licentiate Thesis in Chemical Engineering Department of Chemical Engineering and Technology Division of Chemical, Engineering Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2008. p.70.

LAMBERT, T. W.; GOODWIN, V. M.; STEFANI, D.; STROSHER, L. Hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) and sour gas effects on the eye. A historical perspective. **Science of the Total Environment**, Canada, v. 367, p. 3 – 4, 2006.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia d'água do estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento.** 2004. 191 f. Tese (Doutorado em Ecossistemas Terrestre e Aquáticos) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEAL, G. Q.; LEAL, H. M. Q. As políticas públicas para o esgotamento sanitário urbano nacional: níveis de atuação e perspectivas. In: VI Congresso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales. **Estudios Territoriales.** São Paulo, 2014.

LEENHEER, J. J. A.; CROUÉ, J. J.-P. Peer reviewed: characterizing aquatic dissolved organic matter. **Environmental Science & Technology**, v. 37, n. 1, p. 18A–26A, 2003.

LEITÃO, R. C.; van HAANDEL, A. C.; ZEEMAN, G., LETTINGA, G. The effects of operational and environmental variations on anaerobic wastewater treatment systems: A review. **Biosource Technology**, v. 97, p. 1105-1118, 2006.

LETTINGA G. **My Anaerobic Sustainability Story**, Lettinga Foundation, 2014.

LOBATO, L. C. S. **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico**. 2011. 187 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2011.

LOBATO, L. C. S.; BRESSANI-RIBEIRO, T.; SILVA, B. S.; FLÓREZ, C. A. D.; NEVES, P. N. P.; CHERNICHARO, C. A. L. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 3: Gerenciamento de lodo e espuma. **Revista DAE** – edição especial, v. 66, n. 214, p. 30 – 55, 2018.

LOBATO, L. C. S.; CHERNICHARO, C. A. L.; OLIVEIRA FILHO, J. M.; MORAES, O. J. S. Avaliação de desempenho da pré-operação dos reatores UASB ETE Onça: capacidade instalada 2,05 m<sup>3</sup>/s. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. **Anais ... ABES**: 2007.

LOURENÇO, N. D., CHAVES, C. L., MENEZES, J. C., NOVAIS, J. M., PINHEIRO, H., DINIZ, D. **A espectroscopia ultravioleta-visível na prevenção de descargas não conformes de águas residuais industriais**. Engenharia Química - Indústria, Ciência e Tecnologia. vol. 4, 2006.

MANARA, P.; ZABANIOTOU, A. Towards sewage sludge based biofuels via thermochemical conversion – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 2566 – 2582, 2012.

MCCARTY, P. L. Anaerobic Process. Birmingham Short Course on Design Aspects of Biological Treatment. **International Association of Water Pollution Research**. Birmingham, England, p. 1 – 28, 1974.

MCSEVENY, A.; CONWAY, R.; WILKES, S.; SMITH, M. **International Mathematics For The Middle Year 5**. Pearson Australia, p. 751, 2009.

MENDES, A. A.; CASTRO, H. F.; PEREIRA, E. B.; FURIGO, A. Aplicação de lipases no tratamento de águas residuárias com elevados teores de lipídeos. **Química Nova**, v. 28 (2), p. 296 – 305, 2005.

METCALF; EDDY. **Tratamento de efluentes e Recuperação de Recursos**. 5<sup>a</sup> ed., Porto Alegre: AMGH, 1980 p., 2016.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: treatment, disposal, reuse**. 4<sup>a</sup> ed., 1819p., 2004.

MIKI, M. K. Dilemas do UASB. Seção: práticas operacionais e de empreendimento. **Revista DAE**. n. 183, p. 25 – 37, 2010.

MONTE, M. M. **Contributo para o Estudo da Valorização Energética de Biogás em Estações de Tratamento de Águas Residuais**. 2010. 178 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2010.

MOURA, F.E.; LEITE, V.D.; PRASAD, S. Biodegradação aeróbia de hidrocarbonetos de petróleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, Campo Grande 2005. **Anais...** ABES: 2005. 1 CD ROM.

NELTING, K.; TRAUTMANN, N.; CAICEDO, C.; WEICHHGREBE, D.; ROSENWINKEL, K. H.; COSTA, F. J. O. G.; POSSETTI G. R. C. Constraints on the dissolved methane in the effluent of full scale municipal UASB reactors. **Anais...**The 14th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies, Florianopolis, 2017.

NETRA CONSULT. Pacote de trabalho A – A execução técnica da implementação de procedimentos para a recuperação de metano dissolvido. **Estudo de viabilidade da implementação de procedimentos para a recuperação de metano dissolvido em esgotos municipais no Brasil**. 2016.

NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J.M.; GÜERECA, L.P. **Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales: Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas**. 1. Ed., México: Universidade Nacional Autonoma de México. 113 p. 2013.

NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J.M.; LÓPES-HERNÁNDEZ, J.E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy/resource recovery. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**. v. 5, p. 93 – 114, 2006.

NOYOLA, A.; PADILLA-RIVERA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J.M.; GÜERECA, L.P.; HERNÁNDEZ-PADILLA, F. Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America. **Clean - Soil, Air Water**. v. 40 (9), p. 926 – 932, 2012.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. Edgard Blucher: São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, J. P.; SILVA, J. S. C.; NETO, G. P. P.; BASTOS, G. S. M.; CHERNICHARO, C. A. L. Avaliação comparativa do desempenho de reator UASB convencional e reator UASB com dois estágios de coleta de biogás no tratamento de esgotos domésticos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2007. **Anais...** ABES: 2007.

PATZA, M.G.B.; GABARDO, M.T.; PAWLOWSKY, U. Digestão anaeróbia de despejos de indústrias de café solúvel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...** ABES: Belém do Pará, 1989.

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 157 – 168, 2009.

PEREIRA, J. O.; CHERNICHARO, C. A. L. Remoção física e biológica de espuma do separador trifásico em reator UASB com duplo estágio de coleta de biogás. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013, Goiânia. **Anais...** ABES: 2013.

PHILIPPI, L. S. e SEZERINO, P. H. **Aplicação de Sistemas tipo Wetlands no tratamento de Águas Residuárias**: Utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis - SC. 144 p., 2004.

PIEROTTI, S.M. **Avaliação da partida do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB), em escala real, sob condições hidráulicas desfavoráveis**. 156 p. Dissertação (Mestrado em hidráulica e saneamento) – Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, 2007.

POSSETTI, G. R. C.; JASINSKI, V. P.; MESQUITA, N. C.; KRIGUEL, K.; CARNEIRO, C. Medições em tempo real do biogás produzido em reatores UASB alimentados com esgoto doméstico. In: 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013, **Anais...** Goiânia – GO, 2013.

PROBIOGÁS. **Guia técnico de Aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto**. MINISTERIO DAS CIDADES, Brasília, 2015.

RASI, S.; VEIJANEN, A.; RINTALA, J. Trace Compounds of Biogas from Different Biogas Production Plants. **Elsevier**. v. 32, p. 1375 – 1380. 2007.

RIBEIRO, I. V. A. S. **Estudo do estado trófico do reservatório Acarape do Meio mediante a determinação de indicadores de qualidade de água**. 2007. 194 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

ROSA, A. P. SCHMIDT, A. D. U. C. BORGES, J. M. CHERNICHARO, C. A. L. Acumulação e remoção de espuma em reatores UASB: estudo de caso ETE Laboreaux – Itabira / MG. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013, Goiânia. **Anais...** ABES: 2013.

ROSS, B. Z. L. **Escuma de reatores anaeróbios tratando esgotos domésticos em escala real: produção, caracterização e proposição de parâmetros para seu gerenciamento**. 2015. 163 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2015.

ROSS, C. C.; DRAKE, T. J. **The handbook of biogas utilization**. U.S. Department of Energy Southeastern Regional Biomass Energy Program Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama, 2 ed., 1996.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Comunicação pessoal. Curitiba, 2018.

SATO, N.; OKUBO, T.; OHASHI, A.; HARADA, H. Prospects for a self-sustainable sewage treatment system: case study on full-scale UASB system in India's Yamuna River Basin. *J. Environ. Manage.* v. 80, n. 3, p. 198 – 207, 2006.

SEGHEZZO, L. **Anaerobic Treatment of domestic wastewater in subtropical regions**. p. 133. Wageningen University. Wageningen, The Netherlands, 2004.

SEWERIN. **Biocontrol 4 and 8**. Disponível em: <  
<https://www.sewerin.com/cms/en/our-products/detailview/biocontrol-4-and-8.html>>.  
 Acesso em: 18 jul. 2018.

SILVA, A.B. **Avaliação da produção de odor na estação de tratamento de esgoto Paranoá e seus problemas associados**. 2007. 132 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). UNB, Brasília, 2007.

SILVA, L. C. Gases tóxicos em unidades armazenadoras. **Revista Grãos Brasil: Da Semente ao Consumo**, n. 13, p. 12 – 15, 2004.

SILVA, S. Q.; ZERBINI, A. M.; GODINHO, V. M.; CHERNICHARO, C. A. L. Caracterização morfológica de micro-organismos presentes em espuma de reatores UASB tratando esgotos domésticos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, 2005. **Anais...** ABES: 2005.

SILVA, T. C. F. **Utilização de biogás de estações de tratamento de esgoto para fins energéticos**. 2015. 153 p. Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente). Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2015.

SILVA, T; POSSETTI, G. COELHO, S. Avaliação do Potencial de Produção de Energia a partir do Biogás Gerado no Tratamento de Esgotos Domésticos. In: IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. **Anais...** Florianópolis, 2014.

SILVEIRA, B. et al. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto**. Brasília, DF.: Ministério das Cidades, 2015. 183 p.

SINGH, K. S.; VIRARAGHAVAN, T. Start-up and Operation of UASB Reactors at 20° C for Municipal Wastewater Treatment. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, v. 85, n. 6, p. 609-614, 1998 *apud* GLÓRIA, R. M.; **Estudo dos processos de formação, acumulação, emissão e oxidação de sulfeto de hidrogênio em reatores UASB tratando esgotos domésticos**. 2009. 53 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SOUZA, C. L. **Estudos das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico**



**em reatores UASB.** 2010. 147 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2010.

SOUZA, C. L.; AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Ocorrência de espuma em reatores UASB tratando esgotos tipicamente domésticos: caracterização quantitativa e qualitativa. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2007. **Anais...** ABES: 2007.

SOUZA, C. L.; AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater. **Water Science & Technology**, v. 54, p. 201 – 208, 2006.

SOUZA, C. L.; CHERNICHARO, C. A. L. Quantification of dissolved methane in UASB reactors treating domestic wastewater under different operating conditions. **Water Science and Technology**, v. 64, p. 2259–2264. 2011.

SOUZA, C. L.; CHERNICHARO, C. A. L.; MELO, G. C. M. Methane and hydrogen sulfide emissions in UASB reactors treating domestic wastewater. In: 12º Congresso Mundial de Digestão Anaeróbia. **Anais...** Guadalajara, Jalisco – México: IWA, 2010.

SOUZA, C. L.; SILVA, S. Q.; AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater. In: **4th World Water Congress**, Beijing, China. Proceedings. Beijing, China: International Water Association - IWA, 2006.

SOUZA, M. E.; VIEIRA, S. M. M. Uso de reator UASB para tratamento de esgoto sanitário. **Revista DAE**, v. 46, n. 145, 165 – 168 p. 1986.

THOMAS, O.; BAURES, E.; OUET, M. F. UV spectrophotometry as a non-parametric measurement of water and wastewater quality variability. **Water Qual. Res. J. Can.**, vol. 40 (1), 2005.

VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. V. R. **O comportamento do sistema de lodos ativados.** Campina Grande: EPGRAF, 472 p. 1999.1999.

VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgoto. Um manual para regiões de clima quente.** Campina Grande, Brasil, Universidade Federal da Paraíba. 1994.

VAN LIER, J. B.; VASHI, A.; VAN DER LUBBE, J.; HEFFERNAN, B. Anaerobic sewage treatment using UASB reactors: Engineering and operational aspects. In: Fang, H.H.P. (Editor) **Environmental Anaerobic technology: applications and new developments.** Imperial College Press -London-UK. p. 59-87, 2011.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. In: VON SPERLING, M. (Coord.). **Princípios do tratamento biológico de águas**



**residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, v. 1. 2ª ed. 1996.

VON SPERLING, M.; ANDRADE NETO, C. O.; VOLSCHAN JÚNIOR, I.; FLORÊNCIO, L. Impacto dos Nutrientes do Esgoto Lançado em Corpos de Água. In: MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. (Coord.). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES/Projeto PROSAB. Cap 2. p. 26 – 51. 2009.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar, 2001. p. 17-67, 2001.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2017. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v1).

WAISS, T. C. F.; POSSETTI, G. R. C. Influência de eventos de chuva na produção de biogás de reatores anaeróbios alimentados com esgoto doméstico. In: 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015, **Anais...** Rio de Janeiro – RJ, 2015.

WELLINGER, A.; LINDBERG, A. In: Proceedings of Biogas Event 2000: Kick-Off for a Future Deployment of Biogas Technology 22-24 November 2000, Eskilstuna, Sweden. 2000.

WIECHMANN, B.; DIENEMANN, C.; KABBE, C.; BRANDT, S.; VOGEL, I.; ROSKOSCH, A. **Sewage sludge management in Germany**. Bonn: Umweltbundesamt, 2013.

ZHANG, R.; EL-MASHAD, H. M.; HARTMAN, K.; WANG, F. LIU, G. CHOATE, C. GAMBLE, P. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. **Bioresource Technology**. 98, 929–935. 2006.

ZHANG, X. L.; YANAS.; TYAGI, R. D.; SURAMPALLI R. Y. Odor control in lagoons. **Journal of Environmental Management**. v. 124, p. 62 - 71, 2013.

## APÊNDICES

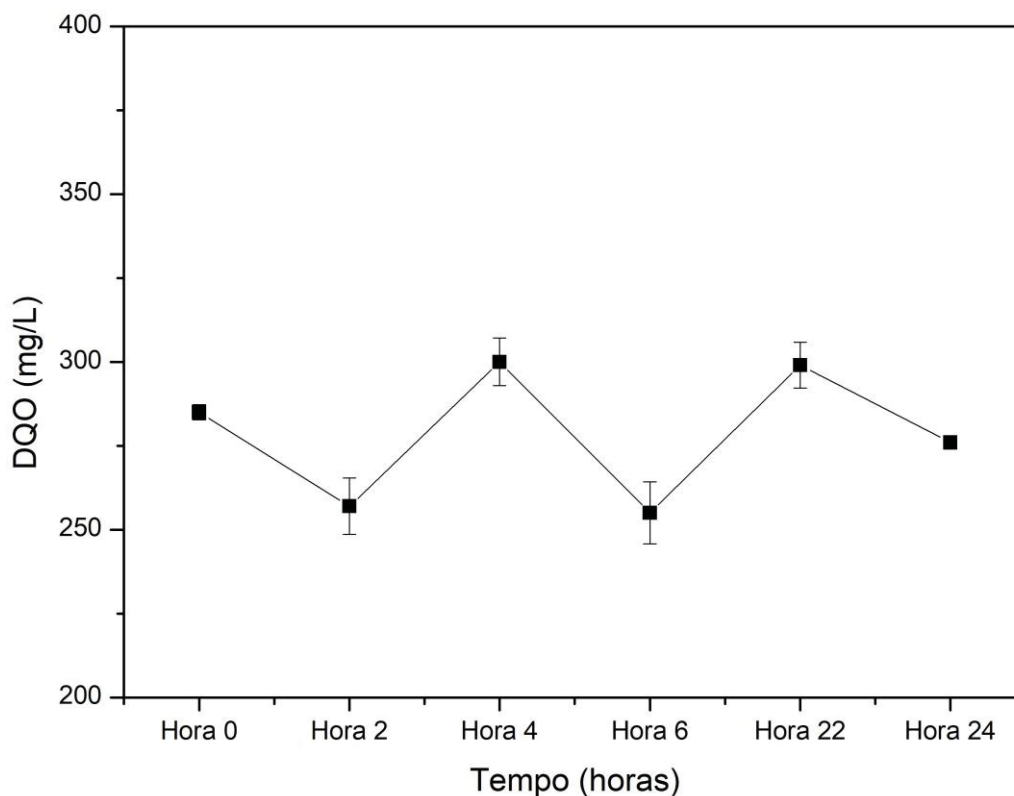
## APÊNDICE 1 – RESULTADOS DA VARIAÇÃO DE DQO AO LONGO DO DIA

TABELA A1.1 – ESGOTO SANITÁRIO: RESULTADOS DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO AO LONGO DO DIA

Tempo (h)	DQO (mg.L <sup>-1</sup> ) <sup>(A)</sup>	Erro absoluto (mg.L <sup>-1</sup> )	Erro relativo (%) <sup>(B)</sup>
0	285	6,33	2,22
2	257	21,67	8,43
4	300	21,33	7,11
6	255	23,67	9,23
22	299	20,33	6,80
24	276	2,67	0,97
<b>Média</b>	<b>278,67</b>	-	<b>5,80</b>
<b>Desvio padrão</b>	<b>19,72</b>	-	<b>3,40</b>

Nota: (A) Amostra coletada em dezembro/2018 e mantida sem acidificação; (B) erro relativo calculado, considerando-se a média como valor absoluto.

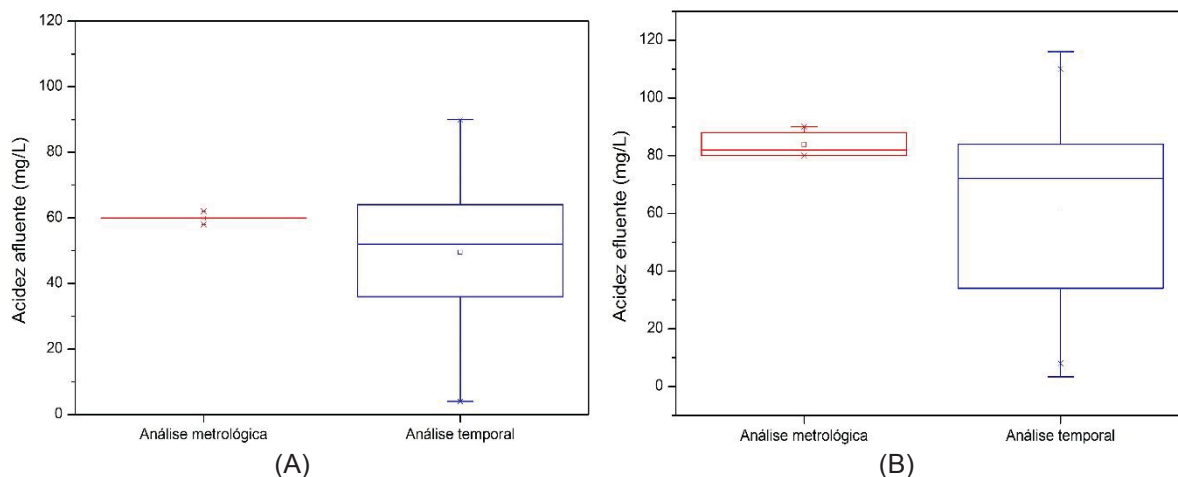
FIGURA A1.1 – ESGOTO SANITÁRIO: VARIAÇÃO DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO AO LONGO DO DIA



Nota: Resultados de DQO ao longo do dia, a partir de uma amostra sem acidificação, com seus respectivos erros relativos. Destaca-se que, as linhas representam apenas guias visuais.

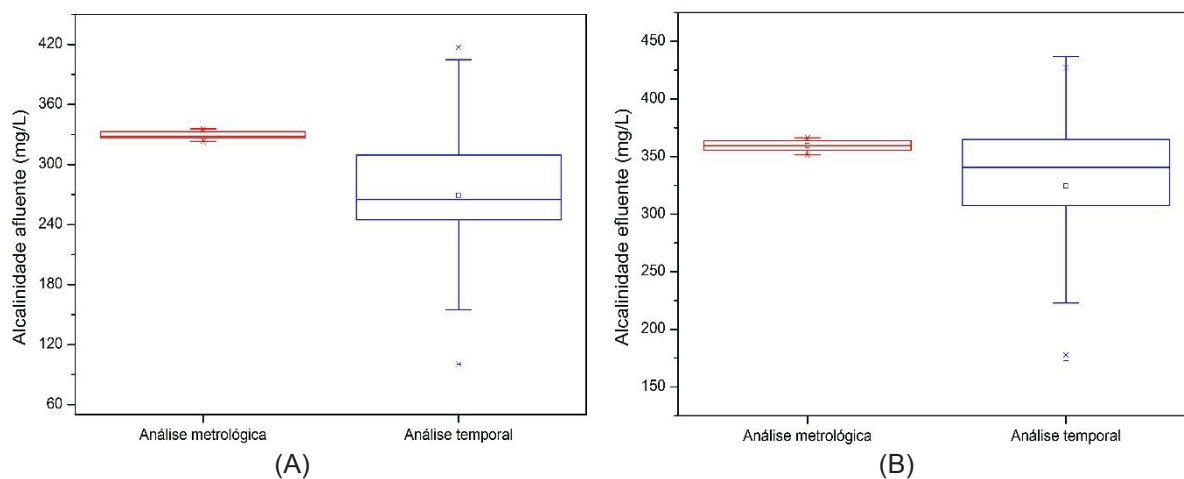
## APÊNDICE 2 – RESULTADOS DA ANÁLISE METROLÓGICA DOS PARÂMETROS AVALIADOS

FIGURA A2.1 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE ACIDEZ DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL



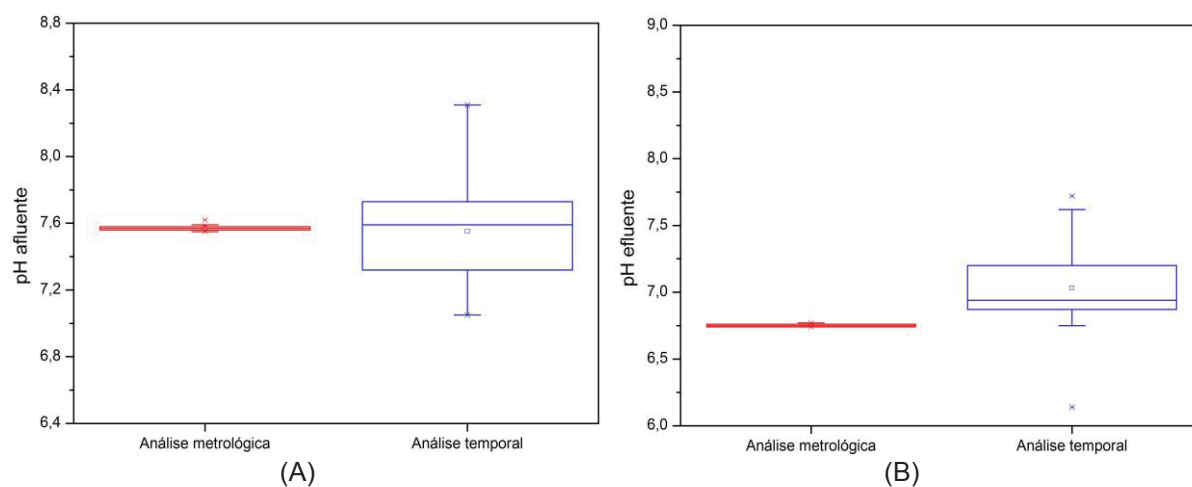
Nota: (A) esgoto afluyente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.2 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE ALCALIDADE DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL



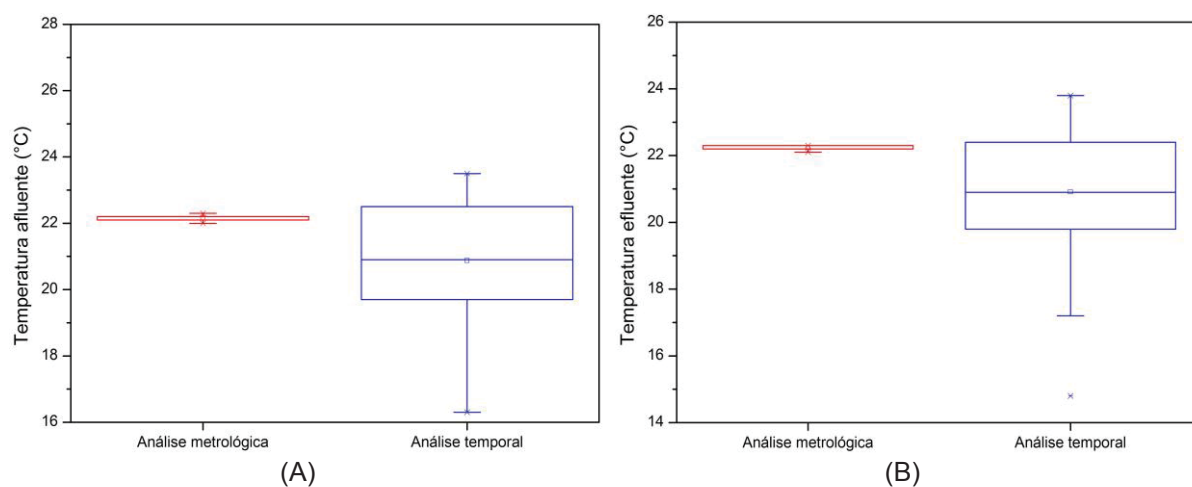
Nota: (A) esgoto afluyente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.3 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE PH DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL



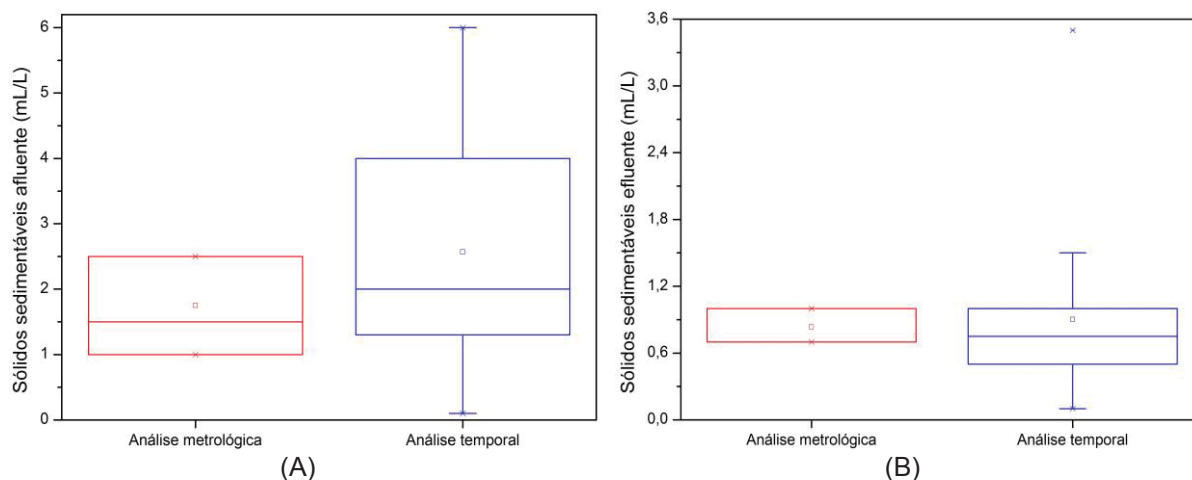
Nota: (A) esgoto afluente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.4 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE TEMPERATURA DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL



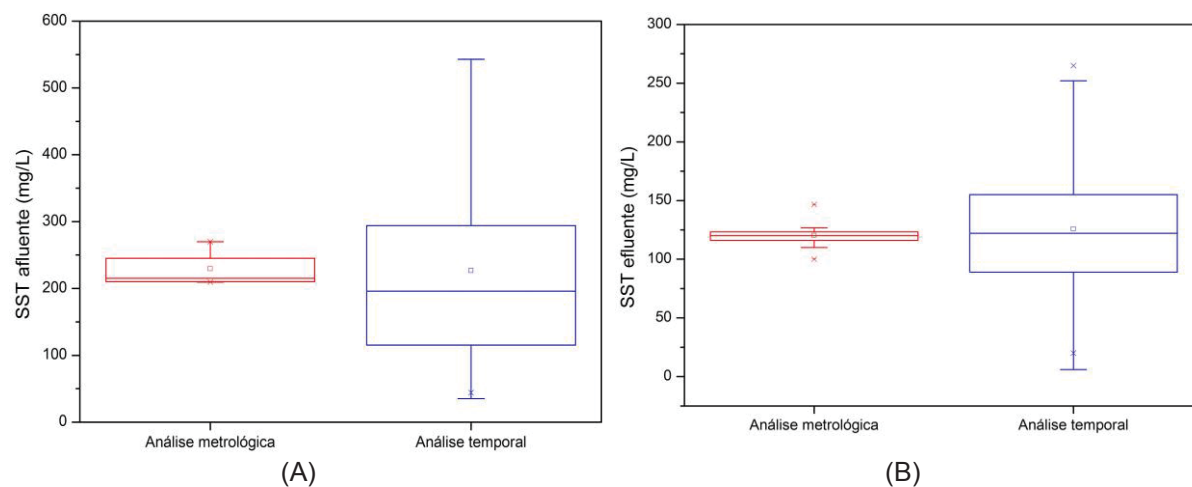
Nota: (A) esgoto afluente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.5 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL



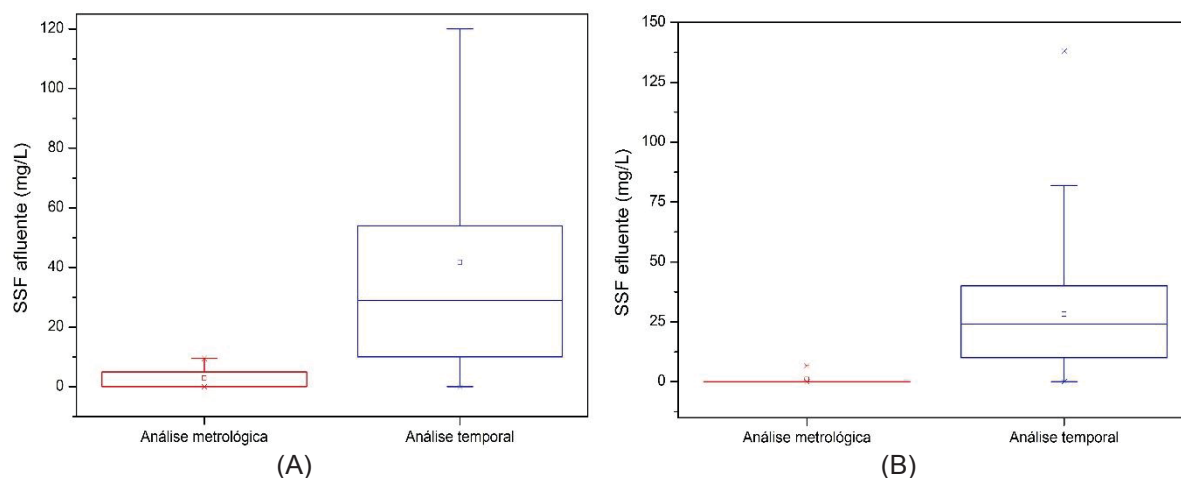
Nota: (A) esgoto afluyente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.6 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE SST DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL



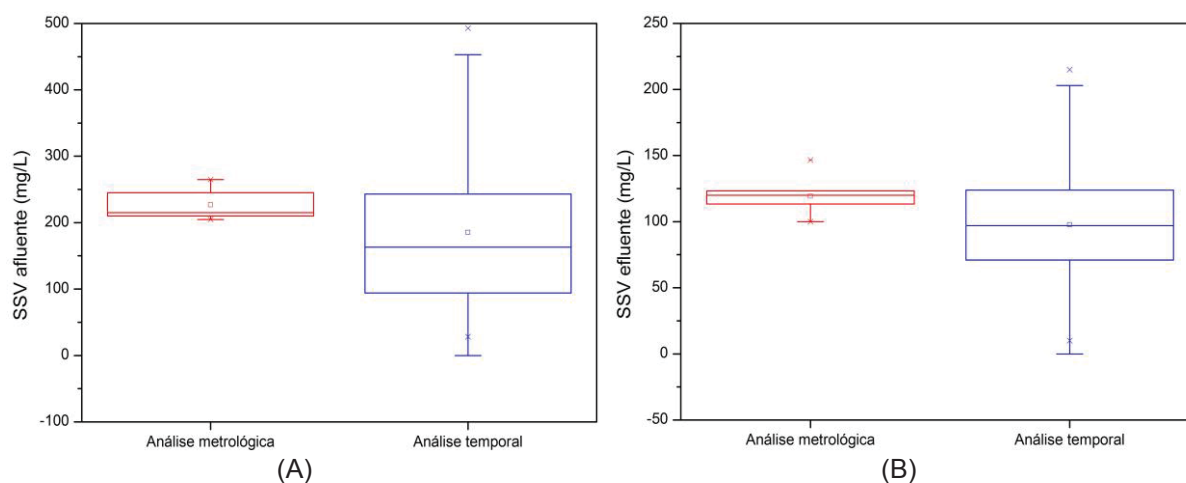
Nota: (A) esgoto afluyente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.7 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE SSF DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL PARA (A) AFLUENTE E (B) EFLUENTE



Nota: (A) esgoto afluyente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

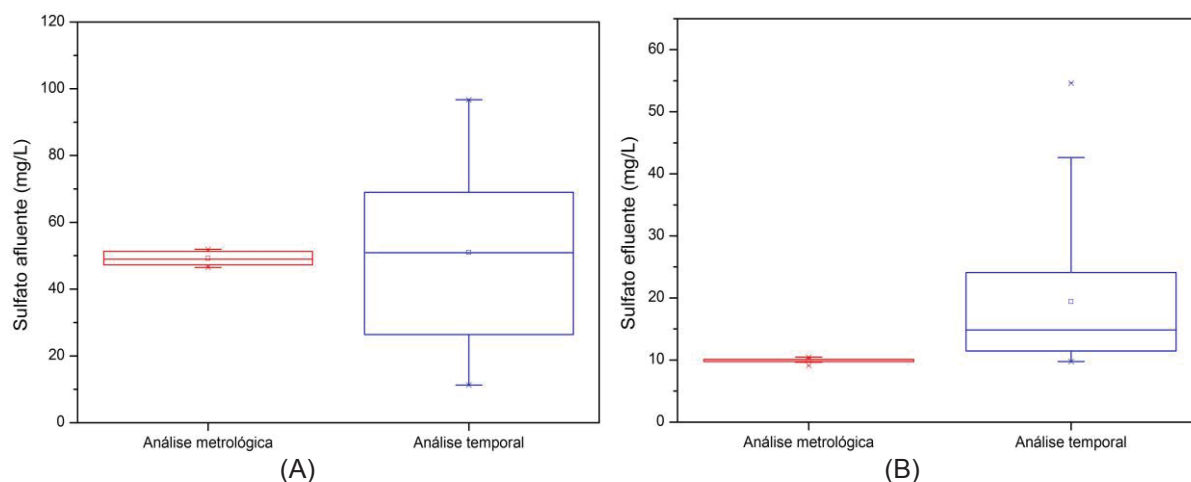
FIGURA A2.8 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE SSV DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL PARA (A) AFLUENTE E (B) EFLUENTE



Nota: (A) esgoto afluyente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

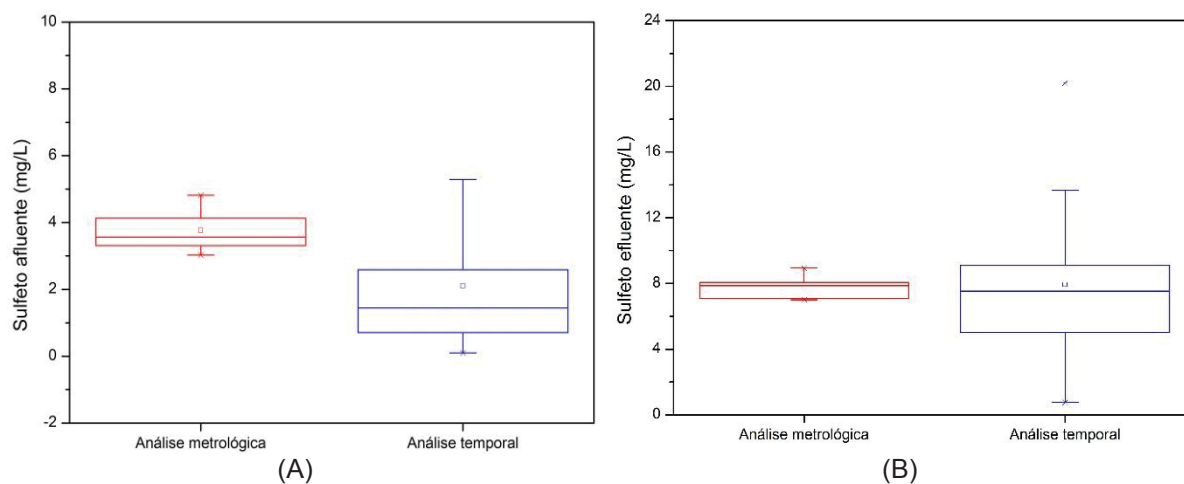


FIGURA A2.9 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE SULFATO DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL PARA (A) AFLUENTE E (B) EFLUENTE



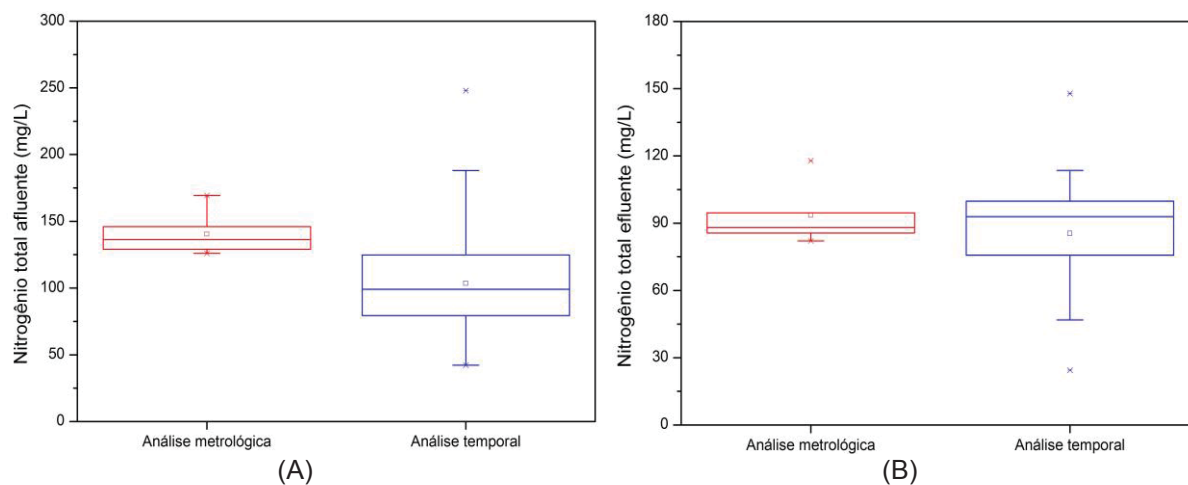
Nota: (A) esgoto afluente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.10 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE SULFETO DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL PARA (A) AFLUENTE E (B) EFLUENTE



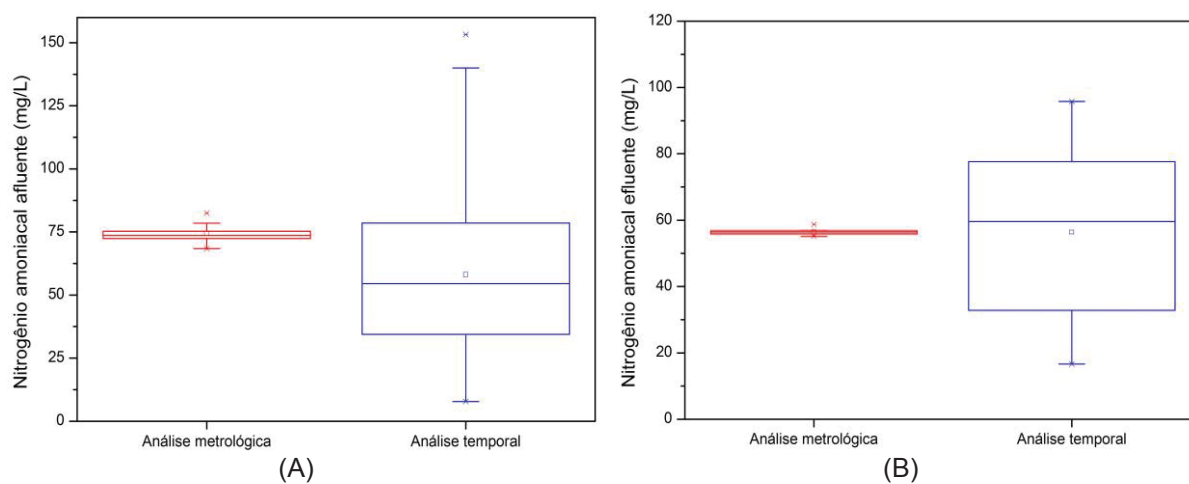
Nota: (A) esgoto afluente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.11 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE NITROGÊNIO TOTAL DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL PARA (A) AFLUENTE E (B) EFLUENTE



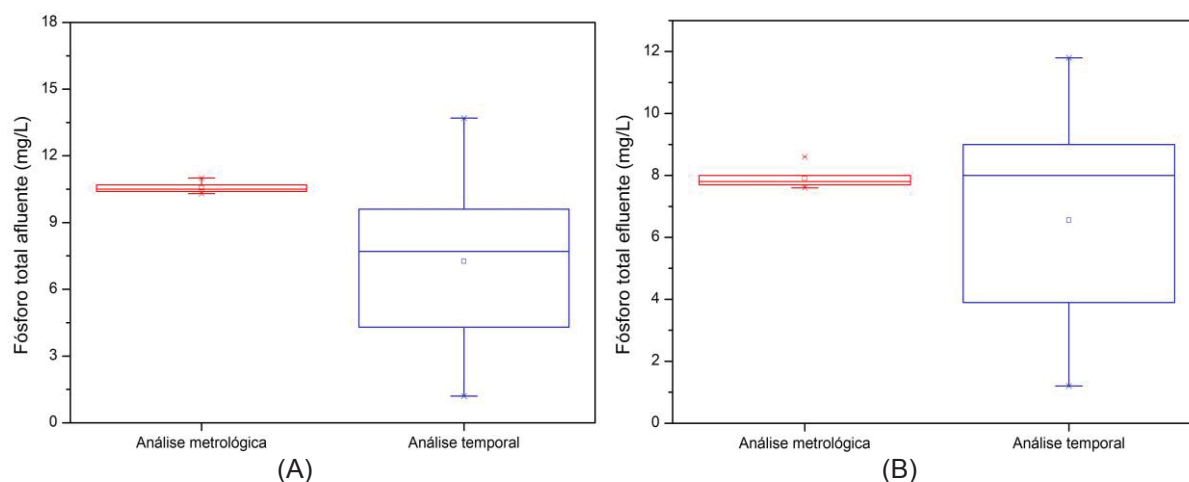
Nota: (A) esgoto afluyente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.12 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE NITROGÊNIO AMONIAICAL DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL PARA (A) AFLUENTE E (B) EFLUENTE



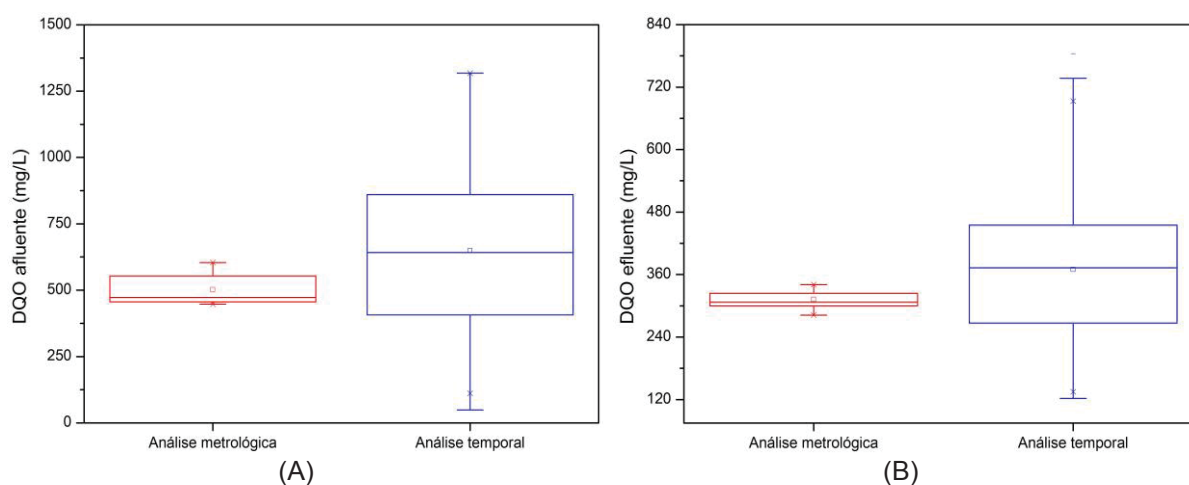
Nota: (A) esgoto afluyente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.13 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE FÓSFORO TOTAL DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL PARA (A) AFLUENTE E (B) EFLUENTE



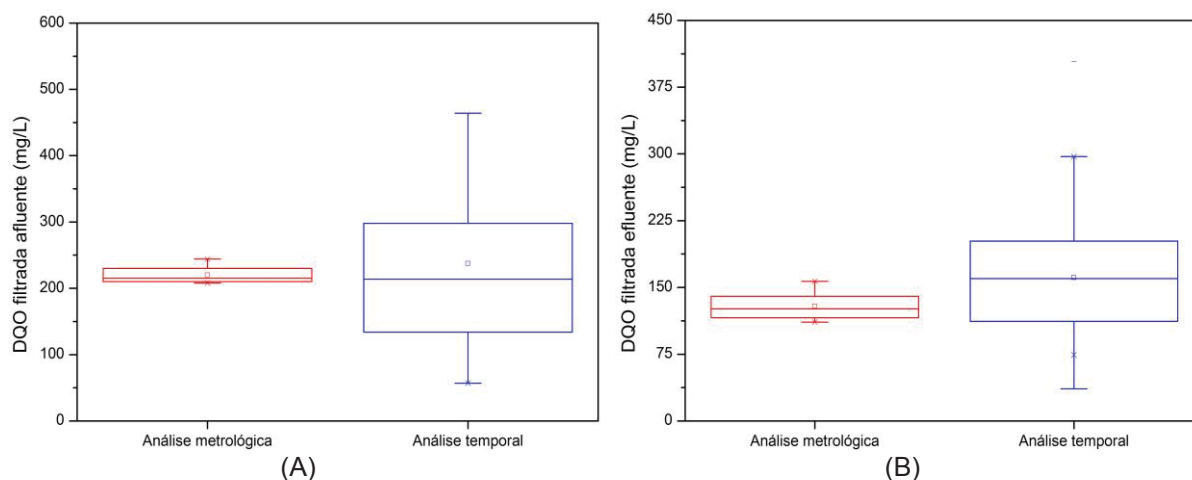
Nota: (A) esgoto afluente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.14 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE DQO DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL PARA (A) AFLUENTE E (B) EFLUENTE



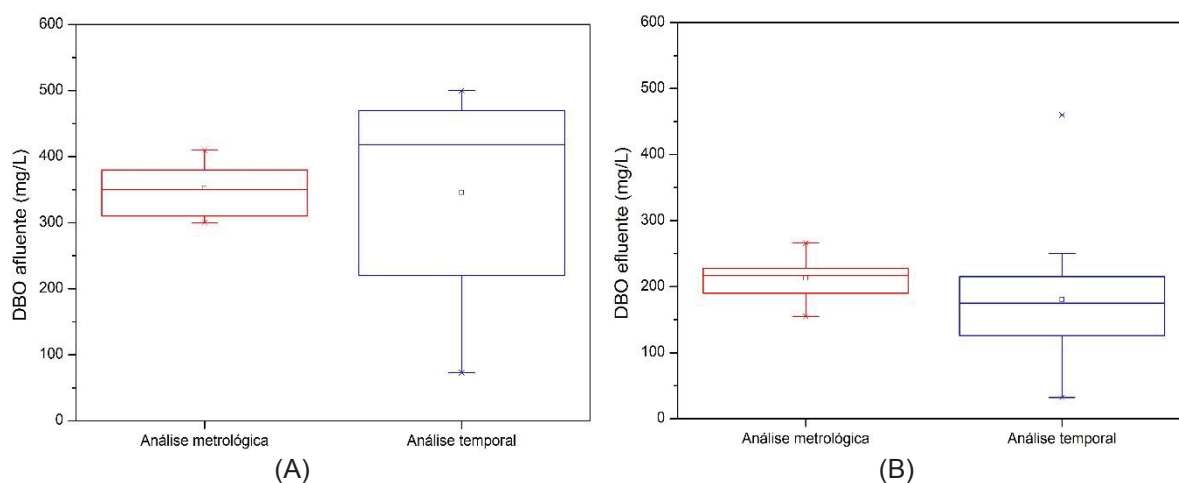
Nota: (A) esgoto afluente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metrológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.15 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE DQO FILTRADA DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL PARA (A) AFLUENTE E (B) EFLUENTE



Nota: (A) esgoto afluyente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metroológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

FIGURA A2.16 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DE DBO DA ANÁLISE METROLÓGICA E DA ANÁLISE TEMPORAL PARA (A) AFLUENTE E (B) EFLUENTE



Nota: (A) esgoto afluyente; (B) esgoto efluente; (C) a análise metroológica refere-se as 20 análises realizadas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade e a análise temporal refere-se a todos os dados obtidos ao longo dos 5 meses.

### APÊNDICE 3 – RESULTADOS DO TESTE DE NORMALIDADE

TABELA A3.1 – RESULTADOS DO TESTE DE NORMALIDADE DE ANDERSON DARLING

Parâmetro	Valor-p do teste de Anderson-Darling para o afluente <sup>(A)</sup>	Valor-p do teste de Anderson-Darling para o efluente <sup>(A)</sup>
Vazão de esgoto (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	<0,005	<0,05
Temperatura (°C)	0,070	0,153
pH	0,166	<0,005
Acidez (mg.L <sup>-1</sup> )	0,205	<0,005
Alcalinidade (mg.L <sup>-1</sup> )	<0,005	<0,005
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	<0,005	<0,005
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	<0,005	<0,005
DQOfiltrada (mg.L <sup>-1</sup> )	0,008	<0,005
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	<0,005	0,019
SSV (mg.L <sup>-1</sup> )	<0,005	0,020
SSF (mg.L <sup>-1</sup> )	<0,005	<0,005
SSed (mL.L <sup>-1</sup> )	0,029	<0,005
Nitrogênio total (mg.L <sup>-1</sup> )	0,047	<0,005
Nitrogênio amoniacal (mg.L <sup>-1</sup> )	0,062	<0,005
Fósforo total (mg.L <sup>-1</sup> )	0,090	<0,005
Sulfeto (mg.L <sup>-1</sup> )	<0,005	0,008
Sulfato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,078	<0,005
Metano dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> )	-	0,491

Nota: (A) considerando o nível de confiança de 95% ( $\alpha = 0,05$ ), se o valor de p for inferior ao nível escolhido, deve-se rejeitar a hipótese nula, de que os dados seguem uma distribuição normal.

APÊNDICE 4 – RESULTADOS DO PRIMEIRO MÊS DE MONITORAMENTO

TABELA A4.1 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE AFLUENTE REFERENTE AO MÊS DE JULHO

Afluente																		
01/07/2018																		
Coletor	Hora	Vazão de esgoto (L/s)	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)
1	08:00	145,000	Ensolarado	7,860	17,100	308,000	312,000	119,000	66,667	270,066	633,000	67,000	566,000	106,130	90,600	1,200	1,375	19,960
2	09:00	172,000	Ensolarado				254,000				85,000	10,000	75,000					
3	10:00	291,000	Ensolarado				306,000				84,000	12,000	72,000					
4	11:00	429,000	Ensolarado				595,000				150,000	0,000	150,000					
5	12:00	429,000	Ensolarado	7,740	19,700	483,000	740,000	381,000	33,333	255,426	219,000	12,000	207,000	247,920	140,000	2,800	13,520	57,380
6	13:00	480,000	Ensolarado				876,000				281,000	12,000	269,000					
7	14:00	509,000	Ensolarado				1291,000				473,000	20,000	453,000					
8	15:00	455,000	Ensolarado				1053,000				382,000	9,000	373,000					
9	16:00	492,000	Ensolarado	7,400	20,100	469,000	850,000	349,000	66,667	241,638	409,000	0,000	409,000	69,820	57,400	2,200	4,113	73,420
10	17:00	410,000	Ensolarado				751,000				315,000	15,000	300,000					
11	18:00	377,000	Ensolarado				823,000				218,000	18,000	200,000					
12	19:00	338,000	Nublado				804,000				214,000	23,000	191,000					
13	20:00	405,000	Nublado				766,000				206,000	0,000	206,000					
14	21:00	388,000	Nublado				883,000				200,000	12,000	188,000					
15	22:00	370,000	Nublado				809,000				180,000	20,000	160,000					
16	23:00	358,000	Nublado				879,000				241,000	18,000	223,000					
17	00:00	325,000	Nublado				672,000				206,000	12,000	194,000					
02/07/2018																		
Coletor	Hora	Vazão de esgoto (L/s)	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)
18	01:00	286,000	Nublado				666,000				109,000	0,000	109,000					
19	02:00	260,000	Nublado				596,000				155,000	11,000	144,000					
20	03:00	197,000	Nublado				557,000				137,000	0,000	137,000					
21	04:00	175,000	Nublado				473,000				139,000	11,000	128,000					
22	05:00	154,000	Nublado				436,000				96,000	0,000	96,000					
23	06:00	142,000	Nublado				370,000				78,000	6,000	72,000					
24	07:00	142,000	Ensolarado				302,000				123,000	18,000	105,000					
1	08:00	194,000	Ensolarado	8,310	16,300	210,000	323,000	276,000	20,000	252,034	35,000	0,000	35,000	98,970	85,400	1,200	1,164	11,260
2	09:00	241,000	Ensolarado				241,000				60,000	13,000	47,000					
3	10:00	300,000	Ensolarado				346,000				93,000	43,000	50,000					
4	11:00	381,000	Ensolarado				498,000				53,000	17,000	36,000					
5	12:00	421,000	Ensolarado	8,010	20,400	500,000	664,000	281,000	40,000	248,949	95,000	5,000	90,000	169,160	153,200	3,700	3,021	42,360
6	13:00	474,000	Ensolarado				705,000				103,000	27,000	76,000					
7	14:00	442,000	Ensolarado				685,000				64,000	5,000	59,000					
8	15:00	436,000	Ensolarado				663,000				217,000	0,000	217,000					
9	16:00	420,000	Ensolarado	7,690	22,600	470,000	651,000	189,000	48,000	249,845	114,000	9,000	105,000	89,410	72,400	1,700	0,868	85,640
10	17:00	381,000	Ensolarado				669,000				78,000	0,000	78,000					
11	18:00	350,000	Ensolarado				650,000				128,000	4,000	124,000					
12	19:00	373,000	Nublado				632,000				61,000	0,000	61,000					
13	20:00	408,000	Nublado				629,000				92,000	0,000	92,000					





TABELA A4.2 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE EFLUENTE REFERENTE AO MÊS DE JULHO

Efluente																			
01/07/2018																			
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
1	08:00	Ensolarado	7,220	17,200	163,000	314,000	138,000	10,000	322,160	196,000	56,000	140,000	0,750	95,550	77,600	1,300	13,673	23,540	13,028
2	09:00	Ensolarado				261,000	142,000	10,000	329,196	106,000	25,000	81,000							
3	10:00	Ensolarado				260,000	127,000	20,000	365,797	112,000	37,000	75,000							
4	11:00	Ensolarado				262,000	126,000	10,000	364,305	105,000	22,000	83,000							
5	12:00	Ensolarado	7,210	18,300	244,000	365,000	133,000	10,000	359,827	115,000	31,000	84,000	1,800	101,390	75,600	1,700	20,194	10,480	13,791
6	13:00	Ensolarado				350,000	151,000	16,667	351,512	137,000	30,000	107,000							
7	14:00	Ensolarado				405,000	154,000	26,667	345,258	158,000	12,000	146,000							
8	15:00	Ensolarado				447,000	176,000	26,667	344,547	184,000	42,000	142,000							
9	16:00	Ensolarado	7,340	20,000	231,000	454,000	187,000	20,000	341,847	204,000	38,000	166,000	1,000	107,740	78,800	2,000	10,820	10,970	11,664
10	17:00	Ensolarado				505,000	186,000	20,000	348,314	184,000	42,000	142,000							
11	18:00	Ensolarado				509,000	166,000	33,333	349,664	164,000	27,000	137,000							
12	19:00	Nublado				463,000	174,000	20,000	334,029	173,000	30,000	143,000							
13	20:00	Nublado				451,000	166,000	30,000	316,262	164,000	48,000	116,000							
14	21:00	Nublado				455,000	196,000	26,667	326,922	150,000	30,000	120,000							
15	22:00	Nublado				445,000	170,000	16,667	344,192	150,000	20,000	130,000							
16	23:00	Nublado				435,000	182,000	26,667	341,776	129,000	32,000	97,000							
17	00:00	Nublado				437,000	186,000	36,667	283,143	145,000	42,000	103,000							
02/07/2018																			
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Nublado				402,000	185,000	10,000	295,438	140,000	43,000	97,000							
19	02:00	Nublado				402,000	205,000	10,000	316,901	120,000	43,000	77,000							
20	03:00	Nublado				373,000	181,000	6,667	303,185	116,000	23,000	93,000							
21	04:00	Nublado				357,000	200,000	3,333	310,576	119,000	19,000	100,000							
22	05:00	Nublado				323,000	190,000	3,333	308,302	103,000	6,000	97,000							
23	06:00	Nublado				322,000	184,000	10,000	318,323	97,000	24,000	73,000							
24	07:00	Ensolarado				315,000	158,000	10,000	307,662	97,000	24,000	73,000							
1	08:00	Ensolarado	7,550	14,800	115,000	343,000	189,000	38,000	383,374	78,000	12,000	66,000	1,000	87,580	67,800	1,200	17,283	20,230	18,485
2	09:00	Ensolarado				290,000	148,000	40,000	379,991	80,000	0,000	80,000							
3	10:00	Ensolarado				278,000	155,000	44,000	364,668	64,000	21,000	43,000							
4	11:00	Ensolarado				300,000	142,000	38,000	363,673	112,000	0,000	112,000							
5	12:00	Ensolarado	7,520	19,900	215,000	356,000	167,000	34,000	368,210	144,000	28,000	116,000	1,000	99,840	90,400	1,400	12,623	11,270	16,338
6	13:00	Ensolarado				407,000	195,000	30,000	360,588	117,000	0,000	117,000							
7	14:00	Ensolarado				737,000	280,000	30,000	345,265	145,000	30,000	115,000							
8	15:00	Ensolarado				520,000	206,000	30,000	352,330	92,000	8,000	84,000							
9	16:00	Ensolarado	7,460	20,800	230,000	493,000	232,000	32,000	346,161	117,000	4,000	113,000	0,800	93,480	82,600	1,800	12,221	28,450	19,749
10	17:00	Ensolarado				470,000	206,000	34,000	344,370	129,000	13,000	116,000							
11	18:00	Ensolarado				454,000	219,000	50,000	338,300	110,000	3,000	107,000							
12	19:00	Nublado				481,000	266,000	28,000	338,300	160,000	8,000	152,000							
13	20:00	Nublado				449,000	245,000	34,000	330,400	108,000	8,000	100,000							
14	21:00	Nublado				454,000	248,000	36,000	328,410	127,000	0,000	127,000							
15	22:00	Nublado				452,000	215,000	38,000	334,320	84,000	0,000	84,000							
16	23:00	Nublado				457,000	229,000	40,000	328,350	167,000	24,000	143,000							

17	00:00	Nublado	466,000	242,000	36,000	332,330	123,000	5,000	118,000	<b>03/07/2018</b>									
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Nublado				496,000	232,000	38,000	333,425	128,000	4,000	124,000							
19	02:00	Nublado				455,000	228,000	42,000	330,539	100,000	24,000	76,000							
20	03:00	Nublado				366,000	195,000	38,000	334,519	116,000	4,000	112,000							
21	04:00	Nublado				367,000	217,000	32,000	340,589	94,000	11,000	83,000							
22	05:00	Nublado				358,000	202,000	42,000	350,837	78,000	8,000	70,000							
23	06:00	Nublado				377,000	201,000	42,000	364,867	78,000	4,000	74,000							
24	07:00	Ensolarado				352,000	183,000	60,000	342,877	79,000	0,000	79,000							
1	08:00	Ensolarado	7,540	18,800	150,000	403,000	185,000	32,000	358,399	107,000	10,000	97,000	1,000	82,340	76,400	1,300	16,211	13,020	17,920
2	09:00	Ensolarado				332,000	228,000	36,000	328,218	82,000	8,000	74,000							
3	10:00	Ensolarado				355,000	153,000	34,000	341,585	139,000	45,000	94,000							
4	11:00	Ensolarado				324,000	174,000	34,000	346,931	269,000	0,000	269,000							
5	12:00	Ensolarado	7,200	19,500	175,000	407,000	168,000	36,000	344,357	120,000	17,000	103,000	1,300	101,240	92,000	1,700	15,727	9,740	17,061
6	13:00	Ensolarado				408,000	221,000	38,000	341,585	146,000	25,000	121,000							
7	14:00	Ensolarado				433,000	257,000	40,000	342,476	124,000	16,000	108,000							
8	15:00	Ensolarado				385,000	147,000	36,000	328,713	122,000	22,000	100,000							
9	16:00	Nublado	7,220	18,200	210,000	429,000	218,000	32,000	334,060	131,000	25,000	106,000	1,100	95,190	83,200	1,500	16,209	33,520	11,321
10	17:00	Nublado				491,000	235,000	22,000	328,713	137,000	13,000	124,000							
11	18:00	Nublado				414,000	212,000	28,000	330,792	130,000	0,000	130,000							
12	19:00	Chuvoso				462,000	229,000	28,000	328,713	133,000	7,000	126,000							
13	20:00	Chuvoso				449,000	232,000	32,000	331,188	126,000	19,000	107,000							
14	21:00	Chuvoso				463,000	222,000	26,000	331,386	152,000	23,000	129,000							
15	22:00	Chuvoso				501,000	250,000	28,000	326,733	155,000	6,000	149,000							
16	23:00	Chuvoso				474,000	224,000	46,000	321,287	152,000	16,000	136,000							
17	00:00	Chuvoso				511,000	230,000	34,000	327,030	151,000	27,000	124,000							
										<b>04/07/2018</b>									
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Nublado				446,000	202,000	26,000	318,699	144,000	31,000	113,000							
19	02:00	Nublado				401,000	200,000	22,000	318,798	174,000	43,000	131,000							
20	03:00	Nublado				446,000	223,000	26,000	329,743	109,000	19,000	90,000							
21	04:00	Nublado				399,000	197,000	22,000	340,589	119,000	0,000	119,000							
22	05:00	Nublado				436,000	187,000	28,000	350,340	85,000	0,000	85,000							
23	06:00	Nublado				358,000	218,000	34,000	358,081	86,000	17,000	69,000							
24	07:00	Nublado				398,000	179,000	32,000	355,116	77,000	5,000	72,000							

TABELA A4.3 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE LODO REFERENTE AO MÊS DE JULHO

Lodo												
01/07/2018												
Hora	DQO (mg/L)	ST (% m/m)	STF (% m/m)	STV (% m/m)	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)		
08:00	44100	5,090	1,430	3,660	0,900	1,500	0,600	1,500	2,400	0,600		
12:00	86080	4,160	1,120	3,040	0,900	0,600	1,800	3,300	0,900	0,900		
16:00	63700	3,710	0,970	2,740	parado	3,000	1,200	3,300	3,600	1,200		
02/07/2018												
Hora	DQO (mg/L)	ST (% m/m)	STF (% m/m)	STV (% m/m)	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)		
08:00	78320	3,520	0,960	2,560	0,900	1,500	0,900	1,800	0,600	0,900		
12:00	70480	3,410	0,920	2,490	1,200	1,800	1,500	0,900	0,900	2,100		
16:00	109300	7,340	2,220	5,120	1,500	2,100	2,100	3,000	1,500	0,900		
03/07/2018												
Hora	DQO (mg/L)	ST (% m/m)	STF (% m/m)	STV (% m/m)	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)		
08:00	74200	5,180	1,790	3,390	0,750	1,700	1,450	1,800	0,800	0,600		
12:00	59200	5,130	1,370	3,760	0,900	1,800	1,500	1,200	0,900	0,900		
16:00	102600	6,120	1,770	4,350	1,200	1,800	1,800	3,000	1,800	0,600		

TABELA A4.4 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESCUMA REFERENTE AO MÊS DE JULHO

Escuma						
01/07/2018						
Hora		DQO (mg/L)	ST (% m/m)	STF (% m/m)	STV (% m/m)	
08:00		194560	16,470	4,050		12,420
12:00		142720	16,540	4,070		12,470
16:00		165600	17,140	3,830		13,310
02/07/2018						
Hora		DQO (mg/L)	ST (% m/m)	STF (% m/m)	STV (% m/m)	
08:00		236320	16,410	3,910		12,500
12:00		196480	17,510	3,980		13,530
16:00		236320	17,890	4,310		13,580
03/07/2018						
Hora		DQO (mg/L)	ST (% m/m)	STF (% m/m)	STV (% m/m)	
08:00		189440	17,430	3,840		13,590
12:00		209920	16,820	4,040		12,780
16:00		181760	16,730	3,950		12,780

TABELA A4.5 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VAZÃO E QUALIDADE DO BIOGÁS REFERENTE AO MÊS DE JULHO

Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
08:00	-	78,82	6,56	0,03	-
09:00	-	80,83	6,77	0,03	-
10:00	-	82,53	5,30	0,03	-
11:00	-	80,61	6,02	0,03	-
12:00	-	79,03	6,29	0,03	-
13:00	-	78,81	6,25	0,03	-
14:00	-	78,29	5,62	0,03	-

15:00	-	78,06	5,21	0,03	-
16:00	-	77,93	4,88	0,03	-
17:00	-	77,85	4,69	0,03	-
18:00	-	77,78	3,76	0,03	-
19:00	-	77,85	4,44	0,03	-
20:00	-	77,78	4,79	0,03	-
21:00	-	77,60	5,14	0,03	-
22:00	-	77,31	5,16	0,03	-
23:00	-	77,30	5,41	0,03	-
00:00	-	77,06	5,67	0,03	-
Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
01:00	-	76,68	5,84	0,03	-
02:00	-	76,55	4,48	0,03	-
03:00	-	76,27	5,36	0,03	-
04:00	-	75,95	6,15	0,03	-
05:00	-	75,71	6,54	0,03	-
06:00	-	75,54	6,92	0,03	-
07:00	-	75,50	7,22	0,03	-
08:00	-	75,40	7,52	0,03	-
09:00	-	75,36	7,52	0,03	-
10:00	-	75,60	5,77	0,03	-
11:00	-	76,22	6,15	0,03	-
12:00	-	76,07	6,29	0,03	-
13:00	-	75,90	5,85	0,03	-
14:00	-	76,06	5,44	0,03	-
15:00	-	76,08	5,23	0,03	-
16:00	-	76,12	4,84	0,03	-
17:00	-	76,11	4,71	0,03	-
18:00	-	76,06	3,62	0,03	-
19:00	-	75,80	4,06	0,03	-
20:00	-	75,72	4,61	0,03	-
21:00	-	75,73	4,98	0,03	-
22:00	-	75,39	5,22	0,03	-
23:00	-	75,38	5,26	0,03	-
00:00	-	75,20	5,56	0,03	-
Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
01:00	-	75,10	5,72	0,03	-
02:00	-	75,02	4,40	0,03	-
03:00	-	74,93	5,21	0,03	-
04:00	-	74,76	5,99	0,03	-
05:00	-	74,73	6,51	0,03	-
06:00	-	74,46	6,82	0,03	-
07:00	-	74,44	7,06	0,03	-
08:00	-	74,21	7,26	0,03	-
09:00	-	74,11	7,43	0,03	-
10:00	-	74,18	5,55	0,03	-
11:00	-	74,37	6,27	0,03	-

12:00	-	74,34	6,29	0,03	-
13:00	-	74,37	6,14	0,03	-
14:00	-	74,20	5,88	0,03	-
15:00	-	74,25	5,77	0,03	-
16:00	-	74,29	5,70	0,03	-
17:00	-	74,16	5,84	0,03	-
18:00	-	74,13	4,59	0,03	-
19:00	-	74,10	5,23	0,03	-
20:00	-	74,38	5,75	0,03	-
21:00	-	73,93	6,06	0,03	-
22:00	-	74,19	6,16	0,03	-
23:00	-	73,93	6,36	0,03	-
00:00	-	73,39	6,42	0,03	-
04/07/2018					
Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
01:00	-	74,002	6,480	0,030	-
02:00	-	78,683	4,965	0,030	-
03:00	-	81,106	5,800	0,030	-
04:00	-	81,390	6,949	0,028	-
05:00	-	79,976	6,820	0,030	-
06:00	-	77,046	7,136	0,030	-
07:00	-	80,575	7,273	0,030	-

APÊNDICE 5 – RESULTADOS DO SEGUNDO MÊS DE MONITORAMENTO

TABELA A5.1 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE AFLUENTE REFERENTE AO MÊS DE AGOSTO

Afluente																			
20/08/2018																			
Coletor	Hora	Vazão de esgoto (L/s)	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)
1	08:00	146,000	Ensolarado	7,700	18,200	210,000	709,000	355,000	64,000	285,300	148,000	28,000	120,000	0,600	102,090	82,400	7,800	0,871	19,620
2	09:00	203,000	Ensolarado				570,000				152,000	24,000	128,000						
3	10:00	258,000	Ensolarado				671,000				105,000	12,000	93,000						
4	11:00	333,000	Ensolarado				882,000				244,000	50,000	194,000						
5	12:00	395,000	Nublado	7,580	21,200	460,000	1185,000	463,000	72,000	417,300	353,000	33,000	320,000	4,000	188,040	72,000	13,700	2,586	68,640
6	13:00	429,000	Nublado				1575,000				344,000	81,000	263,000						
7	14:00	435,000	Nublado				1099,000				453,000	47,000	406,000						
8	15:00	412,000	Nublado				1130,000				336,000	57,000	279,000						
9	16:00	392,000	Nublado	7,150	20,800	460,000	1201,000	640,000	56,000	247,500	256,000	52,000	204,000	5,000	84,570	73,200	7,300	1,984	85,000
10	17:00	352,000	Nublado				1093,000				267,000	40,000	227,000						
11	18:00	330,000	Nublado				953,000				212,000	28,000	184,000						
12	19:00	348,000	Nublado				930,000				286,000	59,000	227,000						
13	20:00	376,000	Nublado				916,000				225,000	45,000	180,000						
14	21:00	414,000	Nublado				910,000				281,000	58,000	223,000						
15	22:00	406,000	Nublado				964,000				264,000	52,000	212,000						
16	23:00	369,000	Nublado				853,000				208,000	32,000	176,000						
17	00:00	322,000	Nublado				845,000				176,000	32,000	144,000						
21/08/2018																			
Coletor	Hora	Vazão de esgoto (L/s)	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)
18	01:00	278,000	Nublado				801,000				219,000	52,000	167,000						
19	02:00	235,000	Nublado				761,000				181,000	35,000	146,000						
20	03:00	160,000	Nublado				653,000				147,000	23,000	124,000						
21	04:00	121,000	Nublado				665,000				156,000	42,000	114,000						
22	05:00	103,000	Nublado				544,000				127,000	31,000	96,000						
23	06:00	132,000	Nublado				492,000				138,000	50,000	88,000						
24	07:00	104,000	Nublado				457,000				110,000	43,000	67,000						
1	08:00	140,000	Nublado	7,710	19,200	220,000	305,000	123,000	36,000	343,629	148,000	24,000	124,000	0,500	108,170	58,800	9,600	1,600	22,920
2	09:00	84,000	Nublado				364,000				87,000	17,000	70,000						
3	10:00	336,000	Nublado				583,000				200,000	47,000	153,000						
4	11:00	-	Ensolarado				546,000				170,000	30,000	140,000						
5	12:00	-	Ensolarado	7,820	20,000	250,000	486,000	242,000	72,000	392,534	150,000	42,000	108,000	0,100	139,040	95,200	12,500	1,295	28,700
6	13:00	-	Ensolarado				485,000				125,000	19,000	106,000						
7	14:00	528,000	Ensolarado				1109,000				318,000	45,000	273,000						
8	15:00	484,000	Ensolarado				1062,000				271,000	50,000	221,000						
9	16:00	350,000	Ensolarado	7,130	19,500	470,000	993,000	464,000	58,000	341,546	431,000	77,000	354,000	4,000	90,070	65,400	9,200	2,835	61,720
10	17:00	300,000	Ensolarado				948,000				343,000	64,000	279,000						
11	18:00	321,000	Nublado				932,000				308,000	54,000	254,000						
12	19:00	322,000	Nublado				914,000				292,000	38,000	254,000						

13	20:00	364,000	Nublado				963,000	288,000	53,000	215,000								
14	21:00	377,000	Nublado				959,000	307,000	20,000	287,000								
15	22:00	374,000	Nublado				929,000	323,000	54,000	269,000								
16	23:00	352,000	Nublado				942,000	289,000	58,000	231,000								
17	00:00	320,000	Nublado				884,000	293,000	47,000	246,000								
22/08/2018																		
Coletor	Hora	Vazão de esgoto (L/s)	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfato Sulfato (mg/L)
18	01:00	280,000	Nublado				774,000				242,000	36,000	206,000					
19	02:00	238,000	Nublado				699,000				233,000	72,000	161,000					
20	03:00	171,000	Nublado				635,000				212,000	35,000	177,000					
21	04:00	147,000	Nublado				556,000				184,000	37,000	147,000					
22	05:00	247,000	Nublado				450,000				167,000	7,000	160,000					
23	06:00	351,000	Nublado				425,000				186,000	29,000	157,000					
24	07:00	319,000	Nublado				352,000				200,000	45,000	155,000					
1	08:00	289,000	Ensolarado	7,610	19,800	436,000	370,000	186,000	56,000	244,726	100,000	8,000	92,000	1,000	118,540	97,600	11,400	0,616 14,860
2	09:00	328,000	Ensolarado				357,000				100,000	14,000	86,000					
3	10:00	371,000	Nublado				427,000				159,000	36,000	123,000					
4	11:00	401,000	Chuvoso				530,000				220,000	50,000	170,000					
5	12:00	422,000	Chuvoso	7,550	19,000	418,000	680,000	248,000	72,000	327,558	235,000	40,000	195,000	4,000	140,260	103,600	8,400	2,451 45,680
6	13:00	395,000	Chuvoso				698,000				329,000	59,000	270,000					
7	14:00	376,000	Chuvoso				817,000				375,000	67,000	308,000					
8	15:00	388,000	Nublado				720,000				341,000	47,000	294,000					
9	16:00	337,000	Nublado	7,090	19,700	196,000	800,000	268,000	62,000	264,864	267,000	27,000	240,000	4,000	92,740	70,400	7,300	0,095 81,700
10	17:00	311,000	Nublado				1092,000				326,000	47,000	279,000					
11	18:00	319,000	Nublado				852,000				317,000	33,000	284,000					
12	19:00	329,000	Nublado				950,000				327,000	73,000	254,000					
13	20:00	370,000	Nublado				860,000				271,000	52,000	219,000					
14	21:00	384,000	Nublado				854,000				354,000	69,000	285,000					
15	22:00	386,000	Nublado				819,000				294,000	94,000	200,000					
16	23:00	374,000	Nublado				838,000				271,000	50,000	221,000					
17	00:00	324,000	Nublado				913,000				286,000	36,000	250,000					
23/08/2018																		
Coletor	Hora	Vazão de esgoto (L/s)	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfato Sulfato (mg/L)
18	01:00	274,000	Nublado				664,000				347,000	47,000	300,000					
19	02:00	222,000	Nublado				681,000				376,000	62,000	314,000					
20	03:00	199,000	Nublado				629,000				265,000	22,000	243,000					
21	04:00	131,000	Nublado				627,000				183,000	38,000	145,000					
22	05:00	110,000	Nublado				549,000				178,000	35,000	143,000					
23	06:00	106,000	Nublado				447,000				152,000	16,000	136,000					
24	07:00	147,000	Nublado				366,000				119,000	12,000	107,000					



TABELA A5.2 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE EFLUENTE REFERENTE AO MÊS DE AGOSTO

Efluente																			
20/08/2018																			
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
1	08:00	Ensolarado	6,930	19,000	205,000	742,000	404,000	80,000	427,000	265,000	55,000	210,000	0,900	101,600	95,800	8,500	9,138	11,460	13,866
2	09:00	Ensolarado				446,000	203,000	90,000	427,000	138,000	46,000	92,000							
3	10:00	Ensolarado				428,000	191,000	80,000	422,900	122,000	39,000	83,000							
4	11:00	Ensolarado				405,000	194,000	76,000	429,300	134,000	34,000	100,000							
5	12:00	Nublado	6,860	22,000	460,000	468,000	195,000	92,000	402,000	214,000	73,000	141,000	1,500	112,770	77,600	9,500	8,328	11,010	14,931
6	13:00	Nublado				599,000	196,000	92,000	404,000	209,000	64,000	145,000							
7	14:00	Nublado				578,000	230,000	82,000	395,000	210,000	65,000	145,000							
8	15:00	Nublado				529,000	229,000	102,000	387,400	186,000	38,000	148,000							
9	16:00	Nublado	6,910	20,800	120,000	550,000	223,000	100,000	387,000	200,000	40,000	160,000	1,000	147,860	86,000	9,900	10,894	14,840	14,863
10	17:00	Nublado				659,000	211,000	108,000	378,000	174,000	57,000	117,000							
11	18:00	Nublado				567,000	221,000	90,000	380,000	133,000	33,000	100,000							
12	19:00	Nublado				557,000	221,000	102,000	375,600	186,000	55,000	131,000							
13	20:00	Nublado				533,000	239,000	100,000	366,000	138,000	24,000	114,000							
14	21:00	Nublado				556,000	297,000	98,000	365,800	131,000	22,000	109,000							
15	22:00	Nublado				567,000	227,000	90,000	369,700	183,000	43,000	140,000							
16	23:00	Nublado				550,000	215,000	108,000	371,500	180,000	55,000	125,000							
17	00:00	Nublado				509,000	225,000	94,000	368,500	165,000	22,000	143,000							

21/08/2018																			
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Nublado				565,000	224,000	66,000	356,300	169,000	46,000	123,000							
19	02:00	Nublado				506,000	226,000	66,000	387,000	146,000	35,000	111,000							
20	03:00	Nublado				476,000	227,000	60,000	397,000	159,000	50,000	109,000							
21	04:00	Nublado				433,000	219,000	78,000	405,000	136,000	48,000	88,000							
22	05:00	Nublado				417,000	285,000	80,000	411,100	109,000	21,000	84,000							
23	06:00	Nublado				455,000	198,000	84,000	424,700	126,000	26,000	100,000							
24	07:00	Nublado				416,000	193,000	90,000	436,800	137,000	44,000	93,000							
1	08:00	Nublado	6,850	19,800	120,000	321,000	186,000	102,000	381,424	64,000	40,000	24,000	0,700	92,900	73,600	9,000	7,619	34,410	13,969
2	09:00	Nublado				269,000	184,000	104,000	382,317	30,000	0,000	30,000							
3	10:00	Nublado				252,000	189,000	108,000	377,258	36,000	18,000	18,000							
4	11:00	Ensolarado				412,000	179,000	100,000	375,373	150,000	56,000	94,000							
5	12:00	Ensolarado	6,940	20,300	245,000	345,000	214,000	106,000	380,432	87,000	45,000	42,000	0,500	94,480	65,400	9,300	4,889	9,780	17,678
6	13:00	Ensolarado				325,000	202,000	102,000	362,576	80,000	17,000	63,000							
7	14:00	Ensolarado				472,000	259,000	82,000	360,691	117,000	40,000	77,000							
8	15:00	Ensolarado				591,000	296,000	80,000	367,437	149,000	37,000	112,000							
9	16:00	Ensolarado	6,140	19,500	205,000	553,000	217,000	76,000	361,584	163,000	30,000	133,000	2,800	94,920	92,000	9,500	8,607	12,300	10,808
10	17:00	Ensolarado				668,000	218,000	94,000	354,838	252,000	88,000	164,000							
11	18:00	Nublado				566,000	382,000	72,000	353,152	183,000	56,000	127,000							
12	19:00	Nublado				522,000	218,000	100,000	345,712	70,000	8,000	62,000							
13	20:00	Nublado				560,000	262,000	100,000	348,886	179,000	36,000	143,000							
14	21:00	Nublado				379,000	224,000	100,000	346,109	55,000	26,000	29,000							
15	22:00	Nublado				387,000	231,000	108,000	348,886	74,000	12,000	62,000							
16	23:00	Nublado				425,000	221,000	116,000	338,272	82,000	10,000	72,000							

17	00:00	Nublado	497,000	248,000	110,000	323,392	176,000	52,000	124,000	<b>22/08/2018</b>									
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Nublado				501,000	215,000	102,000	262,880	149,000	43,000	106,000							
19	02:00	Nublado				518,000	223,000	100,000	378,646	152,000	48,000	104,000							
20	03:00	Nublado				364,000	214,000	102,000	372,794	93,000	53,000	40,000							
21	04:00	Nublado				370,000	222,000	106,000	368,330	91,000	45,000	46,000							
22	05:00	Nublado				355,000	204,000	94,000	374,083	81,000	32,000	49,000							
23	06:00	Nublado				367,000	198,000	116,000	382,019	76,000	12,000	64,000							
24	07:00	Nublado				357,000	238,000	110,000	395,510	108,000	38,000	70,000							
1	08:00	Ensolarado	6,900	19,900	147,000	297,000	186,000	72,000	324,582	113,000	33,000	80,000	1,000	82,480	81,800	8,900	8,169	23,540	12,446
2	09:00	Ensolarado				288,000	200,000	72,000	338,470	77,000	7,000	70,000							
3	10:00	Nublado				333,000	174,000	72,000	343,331	89,000	22,000	67,000							
4	11:00	Chuvoso				287,000	162,000	72,000	327,955	105,000	56,000	49,000							
5	12:00	Chuvoso	7,010	19,000	154,000	340,000	170,000	80,000	339,264	67,000	7,000	60,000							
6	13:00	Chuvoso				311,000	162,000	82,000	338,570	89,000	17,000	72,000							
7	14:00	Chuvoso				355,000	178,000	84,000	337,181	93,000	13,000	80,000							
8	15:00	Nublado				375,000	166,000	104,000	333,610	110,000	25,000	85,000							
9	16:00	Nublado	6,900	19,900	126,000	418,000	160,000	46,000	334,066	103,000	13,000	90,000							
10	17:00	Nublado				435,000	164,000	78,000	287,382	137,000	40,000	97,000	1,500	113,540	78,400	8,600	4,570	42,640	11,997
11	18:00	Nublado				423,000	166,000	-	-	120,000	33,000	87,000							
12	19:00	Nublado				493,000	186,000	-	-	143,000	43,000	100,000							
13	20:00	Nublado				458,000	208,000	-	-	100,000	30,000	70,000							
14	21:00	Nublado				431,000	234,000	-	-	120,000	23,000	97,000							
15	22:00	Nublado				460,000	222,000	-	-	150,000	25,000	125,000							
16	23:00	Nublado				463,000	220,000	60,000	339,066	143,000	38,000	105,000							
17	00:00	Nublado				462,000	236,000	86,000	332,618	142,000	26,000	116,000							
										<b>23/08/2018</b>									
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Nublado				481,000	176,000	64,000	315,456	142,000	39,000	103							
19	02:00	Nublado				448,000	242,000	-	-	131,000	28,000	103							
20	03:00	Nublado				416,000	228,000	60,000	313,472	116,000	22,000	94							
21	04:00	Nublado				336,000	198,000	60,000	309,901	84,000	13,000	71							
22	05:00	Nublado				331,000	234,000	62,000	324,781	83,000	15,000	68							
23	06:00	Nublado				328,000	190,000	66,000	325,872	103,000	3,000	100							
24	07:00	Nublado				-	-	70,000	327,360	-	-	-							

TABELA A5.3 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE LODO REFERENTE AO MÊS DE AGOSTO

Lodo											
20/08/2018											
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)	
08:00	34080	4,770	1,240	3,530	1,500	0,900	0,900	0,900	1,200	0,900	
12:00	47880	4,690	1,150	3,540	1,800	1,050	0,900	1,050	1,800	1,050	
16:00	42120	4,940	1,290	3,650	1,800	0,900	0,900	0,600	1,500	0,900	
21/08/2018											
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)	
08:00	70320	6,020	1,520	4,500	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	
12:00	29160	3,550	0,860	2,690	0,300	0,900	0,900	0,600	1,500	0,900	
16:00	41760	5,100	1,290	3,810	1,200	1,800	1,800	2,400	0,600	0,600	
22/08/2018											
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)	
08:00	65520	6,080	1,640	4,440	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	
12:00	78720	7,260	2,020	5,240	1,500	0,900	0,900	1,800	0,900	0,900	
16:00	76560	6,370	1,640	4,730	1,200	1,500	1,500	1,800	0,600	0,600	

TABELA A5.4 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESCUMA REFERENTE AO MÊS DE AGOSTO

Escuma					
20/08/2018					
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	
08:00	242640	15,840	3,400	12,440	
12:00	239520	16,250	3,260	12,990	
16:00	229200	18,290	3,670	14,620	
21/08/2018					
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	
08:00	239280	16,910	3,600	13,310	
12:00	345840	16,650	3,460	13,190	
16:00	328560	18,950	3,780	15,170	
22/08/2018					
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	
08:00	220560	16,450	3,360	13,090	
12:00	105840	15,050	3,090	11,960	
16:00	240000	17,550	3,490	14,060	

TABELA A5.5 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VAZÃO E QUALIDADE DO BIOGÁS REFERENTE AO MÊS DE AGOSTO

Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
08:00	49,770	0,00	0,00	0,00	3614,00
09:00	49,770	85,73	4,22	0,00	4305,67
10:00	54,625	86,23	4,53	0,00	4239,33
11:00	45,578	0,00	4,68	0,00	3877,00
12:00	41,356	0,00	4,65	0,00	3685,00
13:00	48,581	89,77	4,25	0,00	3646,67
14:00	44,563	89,55	3,67	0,00	3598,67

15:00	43,226	84,12	1,90	0,00	3879,67
16:00	41,802	83,82	1,07	0,03	4213,67
17:00	44,007	80,65	1,60	0,00	4314,00
18:00	41,508	79,83	1,85	0,00	4471,33
19:00	36,755	79,22	1,98	0,00	4538,67
20:00	41,285	78,93	2,13	0,00	4548,67
21:00	46,049	78,68	2,32	0,00	4531,67
22:00	45,788	78,52	2,38	0,00	4448,33
23:00	46,996	79,70	1,92	0,00	4493,33
00:00	44,563	84,12	1,20	0,00	4658,67
21/08/2018					
Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
01:00	44,94	81,12	2,03	0,00	4624,00
02:00	35,74	79,63	2,65	0,00	4411,33
03:00	39,77	80,38	3,02	0,00	4267,00
04:00	33,13	81,12	3,23	0,00	4154,00
05:00	37,37	81,75	3,42	0,00	4113,67
06:00	27,97	82,23	3,50	0,00	4025,67
07:00	33,39	82,95	2,90	0,00	4107,00
08:00	30,31	84,98	2,32	0,00	4352,67
09:00	23,26	82,93	3,48	0,00	4179,67
10:00	35,75	82,67	3,82	0,00	3901,67
11:00	19,52	82,28	4,07	0,00	3793,33
12:00	16,66	82,72	4,23	0,00	3848,00
13:00	34,97	82,32	4,10	0,00	3786,33
14:00	36,44	81,27	3,90	0,00	3705,33
15:00	51,89	80,05	2,85	0,00	3743,00
16:00	40,78	81,42	2,20	0,00	3948,00
17:00	41,81	78,38	3,00	0,00	3921,33
18:00	40,41	78,45	3,32	0,00	3874,67
19:00	38,38	78,98	3,48	0,00	3896,00
20:00	43,60	78,62	3,48	0,00	3833,33
21:00	43,47	78,78	3,55	0,00	3806,67
22:00	52,03	78,75	3,50	0,00	3730,67
23:00	50,06	79,05	2,77	0,00	3782,00
00:00	52,23	81,07	2,12	0,00	4019,00
22/08/2018					
Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
01:00	40,51	79,25	3,13	0,00	3826,33
02:00	44,46	79,75	3,45	0,00	3631,33
03:00	41,54	80,30	3,62	0,00	3507,67
04:00	41,62	81,00	3,80	0,00	3450,00
05:00	35,77	81,30	3,95	0,00	3392,00
06:00	37,68	81,32	3,92	0,00	3275,00
07:00	22,38	81,20	3,18	0,00	3238,67
08:00	27,87	81,88	2,28	0,00	3375,67
09:00	24,17	79,85	3,40	0,00	3146,33
10:00	27,66	79,40	3,62	0,00	2883,00
11:00	29,80	78,82	3,44	0,00	2632,00

12:00	34,20	79,02	1,72	0,00	2647,60
13:00	37,18	77,88	1,75	0,00	2567,67
14:00	35,53	77,35	1,97	0,00	2472,33
15:00	38,35	77,98	1,97	0,00	2514,67
16:00	37,19	76,68	1,31	0,00	5249,29
17:00	35,65	76,56	1,22	0,00	5259,47
18:00	35,39	76,56	1,22	0,00	5263,54
19:00	38,25	76,56	1,22	0,00	5299,15
20:00	36,09	76,56	1,22	0,00	5293,05
21:00	44,84	76,56	1,22	0,00	5277,78
22:00	40,45	76,56	1,22	0,00	5274,73
23:00	46,75	76,56	1,22	0,00	5266,59
00:00	39,68	76,56	1,21	0,00	5279,82
Hora Vazão (Nm³/h) CH₄ (%) CO₂ (%) O₂ (%) H₂S (ppm)					
23/08/2018					
01:00	42,284	76,560	1,210	0,000	5227,925
02:00	35,544	76,560	1,220	0,000	5251,328
03:00	36,434	76,560	1,220	0,000	5252,345
04:00	36,802	76,560	1,220	0,000	5256,415
05:00	29,324	76,560	1,220	0,000	5248,275
06:00	33,053	76,560	1,220	0,000	5254,380
07:00	29,378	76,560	1,220	0,000	5263,538

APÊNDICE 6 – RESULTADOS DO TERCEIRO MÊS DE MONITORAMENTO

TABELA A6.1 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE AFLUENTE REFERENTE AO MÊS DE SETEMBRO

Afluente																		
24/09/2018																		
Coletor	Hora	Vazão de esgoto (L/s)	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto Sulfato (mg/L)
1	08:00	197,000	Ensolarado	7,730	22,800	300,000	394,000	57,000	48,000	309,533	77,000	7,000	70,000	1,500	107,800	68,800	8,200	1,903
2	09:00	233,000	Ensolarado				742,000				243,000	33,000	210,000					
3	10:00	307,000	Ensolarado				1025,000				367,000	75,000	292,000					
4	11:00	371,000	Ensolarado				1318,000				400,000	88,000	312,000					
5	12:00	409,000	Ensolarado	7,480	23,200	490,000	1164,000	80,000	58,000	355,416	327,000	53,000	274,000	4,500	143,800	78,800	11,400	0,378
6	13:00	454,000	Ensolarado				987,000				385,000	77,000	308,000					
7	14:00	446,000	Ensolarado				1284,000				463,000	69,000	394,000					
8	15:00	410,000	Ensolarado				1079,000				335,000	60,000	275,000					
9	16:00	370,000	Ensolarado	7,100	22,500	490,000	1040,000	76,000	46,000	247,586	325,000	60,000	265,000	5,500	82,420	35,200	6,000	0,685
10	17:00	370,000	Ensolarado				894,000				258,000	46,000	212,000					
11	18:00	336,000	Nublado				1133,000				344,000	62,000	282,000					
12	19:00	370,000	Nublado				930,000				240,000	28,000	212,000					
13	20:00	368,000	Nublado				914,000				215,000	25,000	190,000					
14	21:00	374,000	Nublado				1181,000				250,000	55,000	195,000					
15	22:00	370,000	Chuvoso				1058,000				280,000	55,000	225,000					
16	23:00	369,000	Chuvoso				938,000				195,000	10,000	185,000					
17	00:00	370,000	Chuvoso				895,000				370,000	65,000	305,000					
25/09/2018																		
Coletor	Hora	Vazão de esgoto (L/s)	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto Sulfato (mg/L)
18	01:00	451,000	Chuvoso				1182,000				511,000	105,000	406,000					
19	02:00	450,000	Chuvoso				1242,000				763,000	113,000	650,000					
20	03:00	444,000	Chuvoso				1014,000				290,000	75,000	215,000					
21	04:00	414,000	Nublado				799,000				520,000	73,000	447,000					
22	05:00	160,000	Nublado				558,000				230,000	195,000	35,000					
23	06:00	115,000	Nublado				455,000				140,000	20,000	120,000					
24	07:00	118,000	Nublado				264,000				104,000	22,000	82,000					
1	08:00	300,000	Nublado	7,610	21,400	430,000	414,000	220,000	50,000	261,843	171,000	0,000	171,000	0,800	101,500	49,000	12,300	1,718
2	09:00	314,000	Nublado				529,000				211,000	17,000	194,000					
3	10:00	301,000	Nublado				699,000				214,000	5,000	209,000					
4	11:00	328,000	Ensolarado				822,000				248,000	24,000	224,000					
5	12:00	331,000	Ensolarado	7,830	21,700	450,000	808,000	228,000	64,000	277,104	211,000	11,000	200,000	2,000	136,780	78,600	11,900	2,673
6	13:00	400,000	Ensolarado				857,000				282,000	59,000	223,000					
7	14:00	450,000	Ensolarado				931,000				271,000	57,000	214,000					
8	15:00	336,000	Ensolarado				773,000				224,000	48,000	176,000					
9	16:00	370,000	Ensolarado	7,150	21,600	250,000	768,000	154,000	52,000	257,928	164,000	0,000	164,000	1,800	79,400	37,800	7,200	1,445
10	17:00	348,000	Nublado				779,000				243,000	70,000	173,000					
11	18:00	337,000	Nublado				795,000				300,000	92,000	208,000					
12	19:00	350,000	Nublado				739,000				220,000	32,000	188,000					

[illegible]



TABELA A6.2 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE EFLUENTE REFERENTE AO MÊS DE SETEMBRO

Efluente																			
24/09/2018																			
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
1	08:00	Ensolarado	6,840	22,900	460,000	693,000	160,000	98,000	394,371	300,000	73,000	227,000	3,500	89,340	57,600	8,200	6,546	11,400	14,171
2	09:00	Ensolarado				376,000	74,000	98,000	399,280	170,000	43,000	127,000							
3	10:00	Ensolarado				388,000	73,000	90,000	391,245	100,000	40,000	60,000							
4	11:00	Ensolarado				412,000	79,000	82,000	386,285	112,000	36,000	76,000							
5	12:00	Ensolarado	6,880	23,800	225,000	552,000	80,000	80,000	380,730	240,000	60,000	180,000	2,500	89,840	64,200	8,400	7,417	12,110	17,992
6	13:00	Ensolarado				669,000	91,000	80,000	374,579	140,000	40,000	100,000							
7	14:00	Ensolarado				548,000	78,000	80,000	364,163	216,000	36,000	180,000							
8	15:00	Ensolarado				595,000	102,000	80,000	364,262	173,000	27,000	146,000							
9	16:00	Ensolarado	6,910	21,900	250,000	601,000	107,000	72,000	360,294	230,000	55,000	175,000	0,600	100,140	62,200	8,600	8,150	30,820	11,593
10	17:00	Ensolarado				638,000	82,000	76,000	360,195	261,000	57,000	204,000							
11	18:00	Nublado				523,000	104,000	70,000	326,467	192,000	62,000	130,000							
12	19:00	Nublado				521,000	78,000	70,000	321,507	117,000	27,000	90,000							
13	20:00	Nublado				522,000	105,000	76,000	319,821	143,000	37,000	106,000							
14	21:00	Nublado				578,000	84,000	78,000	299,981	187,000	43,000	144,000							
15	22:00	Chuvoso				641,000	84,000	62,000	281,232	169,000	46,000	123,000							
16	23:00	Chuvoso				610,000	104,000	70,000	287,878	190,000	30,000	160,000							
17	00:00	Chuvoso				593,000	102,000	70,000	289,069	237,000	60,000	177,000							
25/09/2018																			
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Chuvoso				555,000	92,000	96,000	353,609	170,000	47,000	123,000							
19	02:00	Chuvoso				535,000	118,000	82,000	363,850	147,000	13,000	134,000							
20	03:00	Chuvoso				447,000	93,000	94,000	376,199	143,000	30,000	113,000							
21	04:00	Nublado				411,000	92,000	92,000	386,942	108,000	22,000	86,000							
22	05:00	Nublado				479,000	88,000	96,000	412,343	94,000	23,000	71,000							
23	06:00	Nublado				378,000	79,000	96,000	410,134	117,000	17,000	100,000							
24	07:00	Nublado				426,000	91,000	96,000	401,299	163,000	33,000	130,000							
1	08:00	Nublado	6,880	21,400	220,000	311,000	71,000	74,000	342,464	105,000	5,000	100,000	0,400	96,240	41,400	11,800	5,005	10,990	12,668
2	09:00	Nublado				292,000	78,000	84,000	341,360	38,000	3,000	35,000							
3	10:00	Nublado				299,000	80,000	78,000	343,067	83,000	0,000	83,000							
4	11:00	Ensolarado				353,000	76,000	82,000	339,954	84,000	0,000	84,000							
5	12:00	Ensolarado	6,820	22,300	205,000	407,000	88,000	82,000	341,561	70,000	23,000	47,000	0,500	81,400	53,200	7,900	5,356	11,760	15,293
6	13:00	Ensolarado				417,000	76,000	92,000	331,521	162,000	10,000	152,000							
7	14:00	Ensolarado				432,000	93,000	82,000	334,131	128,000	19,000	109,000							
8	15:00	Ensolarado				462,000	94,000	84,000	334,734	117,000	7,000	110,000							
9	16:00	Ensolarado	6,870	21,400	190,000	438,000	98,000	84,000	335,637	120,000	12,000	108,000	0,500	99,460	60,800	8,600	6,009	13,700	5,322
10	17:00	Nublado				427,000	93,000	84,000	329,312	128,000	18,000	110,000							
11	18:00	Nublado				429,000	100,000	84,000	330,316	130,000	27,000	103,000							
12	19:00	Nublado				443,000	84,000	90,000	325,597	106,000	14,000	92,000							
13	20:00	Nublado				369,000	105,000	88,000	322,786	100,000	29,000	71,000							
14	21:00	Nublado				468,000	96,000	86,000	320,276	173,000	40,000	133,000							
15	22:00	Nublado				427,000	101,000	88,000	327,505	155,000	30,000	125,000							
16	23:00	Nublado				460,000	108,000	84,000	326,400	151,000	40,000	111,000							

17	00:00	Nublado	26/09/2018																
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Nublado				394,000	90,000	72,000	284,534	111,000	14,000	97,000							
19	02:00	Nublado				423,000	91,000	68,000	283,028	110,000	23,000	87,000							
20	03:00	Nublado				331,000	93,000	72,000	306,320	66,000	0,000	66,000							
21	04:00	Nublado				356,000	82,000	76,000	321,882	83,000	11,000	72,000							
22	05:00	Nublado				320,000	103,000	74,000	337,946	100,000	30,000	70,000							
23	06:00	Chuvoso				301,000	99,000	78,000	338,850	42,000	0,000	42,000							
24	07:00	Chuvoso				328,000	77,000	76,000	337,344	96,000	20,000	76,000							
1	08:00	Chuvoso	6,750	21,800	171,000	291,000	90,000	80,000	373,287	82,000	0,000	82,000	0,800	75,680	46,800	7,300	7,003	27,840	19,948
2	09:00	Chuvoso				331,000	100,000	82,000	365,255	72,000	0,000	72,000							
3	10:00	Ensolarado				312,000	103,000	80,000	366,460	113,000	40,000	73,000							
4	11:00	Ensolarado				342,000	114,000	78,000	358,127	121,000	15,000	106,000							
5	12:00	Ensolarado	6,850	23,100	173,000	394,000	132,000	78,000	351,099	106,000	6,000	100,000	0,500	81,260	59,600	8,400	5,794	12,330	17,234
6	13:00	Ensolarado				438,000	141,000	78,000	343,970	156,000	34,000	122,000							
7	14:00	Ensolarado				442,000	119,000	80,000	340,557	161,000	23,000	138,000							
8	15:00	Ensolarado				453,000	132,000	66,000	301,200	134,000	40,000	94,000							
9	16:00	Ensolarado	6,860	22,000	207,000	466,000	126,000	70,000	301,100	142,000	36,000	106,000	0,500	100,940	73,000	9,500	8,048	15,200	6,105
10	17:00	Ensolarado				473,000	115,000	68,000	288,449	130,000	46,000	84,000							
11	18:00	Nublado				461,000	109,000	64,000	287,947	176,000	80,000	96,000							
12	19:00	Nublado				475,000	155,000	64,000	285,437	128,000	16,000	112,000							
13	20:00	Nublado				461,000	101,000	64,000	287,244	137,000	54,000	83,000							
14	21:00	Nublado				433,000	119,000	68,000	291,060	131,000	31,000	100,000							
15	22:00	Nublado				430,000	129,000	66,000	291,160	157,000	54,000	103,000							
16	23:00	Nublado				391,000	123,000	80,000	297,184	147,000	47,000	100,000							
17	00:00	Nublado				407,000	94,000	78,000	297,084	120,000	0,000	120,000							
27/09/2018																			
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Nublado				361,000	92,000	70,000	323,388	165,000	38,000	127,000							
19	02:00	Nublado				344,000	105,000	76,000	335,637	62,000	10,000	52,000							
20	03:00	Nublado				319,000	94,000	74,000	343,468	68,000	0,000	68,000							
21	04:00	Nublado				321,000	89,000	68,000	365,456	116,000	6,000	110,000							
22	05:00	Nublado				313,000	88,000	84,000	369,773	93,000	0,000	93,000							
23	06:00	Nublado				336,000	83,000	82,000	374,191	173,000	30,000	143,000							
24	07:00	Ensolarado				298,000	88,000	94,000	370,074	134,000	57,000	77,000							

TABELA A6.3 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE LODO REFERENTE AO MÊS DE SETEMBRO

Lodo												
24/09/2018												
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)		
08:00	45760	3,900	0,980	2,920	0,900	0,600	0,900	1,200	0,600	0,300		
12:00	28480	2,130	0,530	1,600	0,900	0,900	0,600	0,900	0,300	0,600		
16:00	104000	3,800	0,940	2,860	1,500	1,500	1,200	1,500	0,450	0,150		
25/09/2018												
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)		
08:00	39040	2,530	0,670	1,860	0,300	0,300	0,600	0,600	0,300	0,300		
12:00	27480	3,640	0,950	2,690	0,900	0,900	1,200	0,900	0,300	0,300		
16:00	76080	5,560	1,440	4,120	0,900	1,200	1,500	1,800	0,600	0,300		
26/09/2018												
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)		
08:00	19360	4,020	1,020	3,000	0,450	0,600	0,300	0,600	0,300	0,600		
12:00	11200	2,940	0,760	2,180	0,600	0,300	0,300	0,600	0,300	0,300		
16:00	27840	3,280	0,780	2,500	0,900	1,200	0,900	1,200	0,600	0,300		

TABELA A6.4 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESCUMA REFERENTE AO MÊS DE SETEMBRO

Escuma						
24/09/2018						
Hora		DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	
08:00		262080	22,650	5,810	16,840	
12:00		240960	18,500	5,040	13,460	
16:00		227760	16,970	4,970	12,000	
25/09/2018						
Hora		DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	
08:00		220560	18,490	4,870	13,620	
12:00		262320	18,240	5,170	13,070	
16:00		218160	22,200	5,840	16,360	
26/09/2018						
Hora		DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	
08:00		300960	18,350	4,960	13,390	
12:00		314880	17,490	4,460	13,030	
16:00		243840	19,510	5,060	14,450	

TABELA A6.5 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VAZÃO E QUALIDADE DO BIOGÁS REFERENTE AO MÊS DE SETEMBRO

Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
08:00	29,792	86,30	19,07	0,00	628,00
09:00	39,295	85,86	17,68	0,00	1201,20
10:00	26,286	88,73	4,32	0,00	4200,00
11:00	32,912	87,22	3,46	0,00	3856,80
12:00	38,111	87,23	3,26	0,00	3788,29
13:00	37,539	86,58	2,80	0,00	3792,80
14:00	34,624	86,65	2,65	0,00	3943,00

15:00	38,743	86,60	2,47	0,00	4198,67
16:00	37,109	86,30	2,43	0,00	4354,67
17:00	34,417	86,93	2,48	0,00	4545,67
18:00	33,113	85,88	3,07	0,00	4649,67
19:00	34,469	86,38	2,62	0,00	4683,33
20:00	34,676	87,28	2,73	0,00	4823,33
21:00	40,365	84,62	3,33	0,00	4780,33
22:00	77,014	85,57	2,80	0,00	4767,00
23:00	44,514	85,35	3,22	0,00	4132,00
00:00	47,606	86,80	3,18	0,00	4806,00
Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
25/09/2018					
01:00	39,83	87,14	3,29	0,00	4719,71
02:00	36,40	84,93	4,02	0,00	4543,67
03:00	30,21	84,97	3,47	0,00	4354,00
04:00	28,99	85,10	3,47	0,00	4141,67
05:00	31,82	83,52	4,15	0,00	3938,00
06:00	21,50	84,17	4,22	0,00	3767,67
07:00	33,41	86,48	3,23	0,00	3764,33
08:00	20,86	86,40	3,52	0,00	3631,33
09:00	22,30	85,78	4,02	0,00	3554,00
10:00	25,42	86,05	3,37	0,00	3387,33
11:00	28,98	85,37	3,25	0,00	3218,00
12:00	30,53	83,83	3,43	0,00	3081,67
13:00	39,36	84,17	2,67	0,00	3055,00
14:00	35,54	83,65	2,63	0,00	3105,67
15:00	38,91	84,43	2,55	0,00	3284,67
16:00	37,03	83,27	2,87	0,00	3421,33
17:00	35,38	83,68	2,98	0,00	3590,00
18:00	34,27	83,65	3,13	0,00	3729,00
19:00	37,46	85,35	2,50	0,00	3906,67
20:00	34,71	86,40	2,17	0,00	4018,67
21:00	41,70	84,68	3,08	0,00	4046,33
22:00	39,08	85,47	2,78	0,00	4144,00
23:00	46,86	85,35	3,22	0,00	4132,00
00:00	44,46	83,77	3,62	0,00	4042,67
Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
26/09/2018					
01:00	38,52	85,60	2,93	0,00	4091,00
02:00	39,03	84,73	3,58	0,00	3994,33
03:00	41,40	85,43	3,38	0,00	3953,00
04:00	32,28	84,75	4,02	0,00	3913,33
05:00	30,80	85,05	4,53	0,00	3846,33
06:00	29,47	85,47	4,78	0,00	3810,33
07:00	31,58	86,07	4,73	0,00	3787,33
08:00	26,92	88,53	3,13	0,00	3905,33
09:00	34,45	87,97	4,05	0,00	3859,67
10:00	30,88	86,87	3,77	0,00	3763,67
11:00	31,14	85,32	4,08	0,00	3645,67

12:00	42,43	85,22	3,37	0,00	3519,33
13:00	43,59	84,15	3,07	0,00	3434,67
14:00	46,38	82,97	3,22	0,00	3420,00
15:00	45,12	83,73	2,57	0,00	3540,67
16:00	37,96	84,38	2,42	0,00	3638,33
17:00	48,59	84,02	2,53	0,00	3816,33
18:00	46,00	83,28	2,93	0,00	3891,00
19:00	43,78	84,28	2,62	0,00	4065,67
20:00	48,32	84,30	2,90	0,00	4108,67
21:00	53,15	83,93	2,78	0,00	4129,67
22:00	45,23	84,07	2,90	0,00	4152,67
23:00	41,89	83,23	2,77	0,00	3964,33
00:00	41,57	82,97	3,00	0,00	3887,67
Hora Vazão (Nm³/h) CH₄ (%) CO₂ (%) O₂ (%) H₂S (ppm)					
27/09/2018					
01:00	36,500	84,746	3,324	0,000	3835,400
02:00	42,219	82,183	2,900	0,000	3562,000
03:00	36,285	81,617	3,300	0,000	3425,333
04:00	36,157	83,250	2,950	0,000	3470,000
05:00	31,401	84,117	3,100	0,000	3395,333
06:00	28,191	84,800	3,250	0,000	3396,667
07:00	32,375	85,250	3,383	0,000	3361,000



[illegible]



TABELA A7.2 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE EFLUENTE REFERENTE AO MÊS DE OUTUBRO

Efluente																			
15/10/2018																			
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
1	08:00	Chuvoso	6,900	19,700	60,000	298,000	282,000	16,000	207,426	112,000	19,000	93,000	0,900	65,780	31,800	3,900	1,940	19,520	-
2	09:00	Chuvoso				172,000	194,000	20,000	209,033	118,000	43,000	75,000							
3	10:00	Chuvoso				186,000	181,000	20,000	218,671	79,000	14,000	65,000							
4	11:00	Chuvoso				222,000	193,000	16,000	216,964	67,000	46,000	21,000							
5	12:00	Chuvoso	7,060	19,900	150,000	216,000	202,000	18,000	224,896	46,000	4,000	42,000	0,500	50,500	41,100	4,500	1,544	19,770	-
6	13:00	Chuvoso				202,000	195,000	18,000	211,342	186,000	138,000	48,000							
7	14:00	Chuvoso				216,000	185,000	22,000	216,864	108,000	58,000	50,000							
8	15:00	Chuvoso				212,000	187,000	20,000	190,760	342,000	268,000	74,000							
9	16:00	Chuvoso	6,990	19,300	32,000	240,000	193,000	20,000	186,744	68,000	30,000	38,000	0,400	51,960	33,500	4,400	1,784	24,070	-
10	17:00	Chuvoso				254,000	201,000	20,000	181,423	128,000	82,000	46,000							
11	18:00	Chuvoso				242,000	212,000	18,000	177,708	132,000	112,000	20,000							
12	19:00	Chuvoso				236,000	196,000	20,000	172,688	158,000	80,000	78,000							
13	20:00	Nublado				214,000	203,000	20,000	174,194	64,000	14,000	50,000							
14	21:00	Nublado				232,000	193,000	20,000	173,893	214,000	188,000	26,000							
15	22:00	Chuvoso				228,000	191,000	16,000	179,114	146,000	112,000	34,000							
16	23:00	Chuvoso				296,000	197,000	18,000	189,254	154,000	132,000	22,000							
17	00:00	Chuvoso				236,000	213,000	18,000	192,969	77,000	47,000	30,000							
16/10/2018																			
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Nublado				254,000	232,000	22,000	198,290	182,000	132,000	50,000							
19	02:00	Nublado				210,000	208,000	22,000	195,981	233,000	223,000	10,000							
20	03:00	Nublado				204,000	213,000	14,000	196,985	94,000	4,000	90,000							
21	04:00	Nublado				216,000	219,000	12,000	198,089	117,000	7,000	110,000							
22	05:00	Nublado				220,000	187,000	14,000	195,278	20,000	20,000	0,000							
23	06:00	Nublado				228,000	171,000	8,000	194,876	132,000	52,000	80,000							
24	07:00	Nublado				212,000	155,000	14,000	198,390	98,000	24,000	74,000							
1	08:00	Nublado	6,970	20,900	105,000	144,000	82,000	40,000	183,900	68,000	8,000	60,000	0,200	24,410	16,600	2,700	2,520	16,560	-
2	09:00	Chuvoso				172,000	94,000	26,000	192,768	72,000	44,000	28,000							
3	10:00	Chuvoso				164,000	78,000	50,000	219,374	27,000	7,000	20,000							
4	11:00	Chuvoso				131,000	74,000	48,000	212,848	65,000	0,000	65,000							
5	12:00	Chuvoso	7,720	20,200	120,000	200,000	76,000	44,000	238,952	42,000	2,000	40,000	0,100	49,360	41,500	4,600	0,758	23,730	-
6	13:00	Chuvoso				195,000	114,000	42,000	253,108	24,000	4,000	20,000							
7	14:00	Chuvoso				204,000	100,000	54,000	250,900	23,000	10,000	13,000							
8	15:00	Chuvoso				226,000	126,000	48,000	253,008	40,000	9,000	31,000							
9	16:00	Chuvoso	7,620	20,000	55,000	239,000	122,000	48,000	240,960	48,000	6,000	42,000	0,200	66,060	17,800	5,100	4,907	34,700	-
10	17:00	Chuvoso				273,000	136,000	50,000	225,599	52,000	8,000	44,000							
11	18:00	Chuvoso				195,000	126,000	40,000	215,258	46,000	10,000	36,000							
12	19:00	Chuvoso				178,000	132,000	40,000	199,997	66,000	0,000	66,000							
13	20:00	Chuvoso				175,000	92,000	40,000	194,300	58,000	6,000	52,000							
14	21:00	Chuvoso				181,000	124,000	38,000	186,342	64,000	14,000	50,000							
15	22:00	Chuvoso				175,000	106,000	38,000	185,941	60,000	8,000	52,000							
16	23:00	Chuvoso				200,000	108,000	38,000	185,740	58,000	4,000	53,000							



TABELA A7.3 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE LODO REFERENTE AO MÊS DE OUTUBRO

Lodo												
15/10/2018												
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)		
08:00	99450	6,270	1,740	4,530	1,800	1,200	1,500	1,500	1,200	1,500		
12:00	98460	6,270	1,690	4,580	1,500	1,200	1,200	1,500	1,200	1,200		
16:00	112680	6,530	1,660	4,870	0,900	0,900	0,900	1,200	0,600	0,300		
16/10/2018												
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)		
08:00	54480	4,740	1,300	3,440	0,300	0,300	0,300	0,600	0,300	0,300		
12:00	38520	3,730	0,990	2,740	1,000	0,500	1,000	2,500	0,500	0,000		
16:00	29160	3,340	0,900	2,440	0,600	0,300	0,600	0,900	1,500	0,600		
17/10/2018												
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)		
08:00	35280	3,080	0,850	2,230	0,300	0,600	0,900	0,750	1,050	0,450		
12:00	21960	2,460	0,660	1,800	0,300	0,300	0,300	0,300	0,600	0,900		
16:00	156960	8,190	2,240	5,950	0,750	0,300	1,500	1,500	0,600	1,800		

TABELA A7.4 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESCUMA REFERENTE AO MÊS DE OUTUBRO

Escuma						
15/10/2018						
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m		
08:00	96240	14,420	3,740	10,680		
12:00	208080	14,860	4,000	10,860		
16:00	209760	14,860	3,830	11,030		
16/10/2018						
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m		
08:00	266160	16,040	4,300	11,740		
12:00	217920	14,600	3,660	10,940		
16:00	209760	14,320	3,690	10,630		
17/10/2018						
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m		
08:00	218640	14,950	3,850	11,100		
12:00	232080	15,570	4,170	11,400		
16:00	228000	14,650	3,880	10,770		

TABELA A7.5 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VAZÃO E QUALIDADE DO BIOGÁS REFERENTE AO MÊS DE OUTUBRO

Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
08:00	35,160	79,25	1,10	0,00	1700,00
09:00	27,233	84,40	2,45	0,00	1743,50
10:00	21,661	83,77	2,07	0,00	1587,00
11:00	21,734	83,63	1,77	0,00	1564,00
12:00	16,992	83,18	1,50	0,00	1530,33
13:00	24,707	82,57	1,67	0,00	1473,00
14:00	14,948	82,30	1,35	0,00	1495,67

15:00	18,054	82,48	1,48	0,00	1477,67
16:00	17,939	81,88	1,28	0,00	1431,00
17:00	21,968	81,70	1,18	0,00	1385,67
18:00	14,874	81,17	1,47	0,00	1367,00
19:00	12,718	81,55	1,05	0,00	1352,67
20:00	21,628	81,25	1,35	0,00	1324,25
21:00	14,352	81,83	1,67	0,00	1276,00
22:00	17,591	80,95	1,65	0,00	1284,00
23:00	20,991	80,72	1,32	0,00	1367,33
00:00	21,514	80,35	1,27	0,00	1378,33
Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	16/10/2018	CO <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
01:00	21,794	80,07	1,38	0,00	1468,00
02:00	25,363	80,05	1,42	0,00	1574,00
03:00	15,272	80,33	1,80	0,00	1649,33
04:00	18,351	80,52	1,47	0,00	1693,67
05:00	20,379	80,93	1,65	-	1770,67
06:00	16,418	81,37	1,60	0,00	1696,33
07:00	15,909	81,47	1,60	0,00	1621,67
08:00	12,901	81,65	1,88	0,00	1521,33
09:00	7,467	82,20	1,33	0,00	1506,67
10:00	21,418	82,25	1,25	0,00	1439,33
11:00	18,898	81,82	1,30	0,00	1409,00
12:00	24,552	81,40	1,27	0,00	1457,67
13:00	31,485	79,97	1,63	0,00	1528,00
14:00	32,746	79,53	1,87	0,00	1644,67
15:00	29,792	79,57	2,00	0,00	1784,33
16:00	28,499	79,72	1,87	0,00	1913,67
17:00	22,646	80,38	0,80	0,00	2032,00
18:00	23,836	80,23	1,10	0,00	1991,00
19:00	18,065	80,08	1,55	0,00	1997,33
20:00	19,845	80,88	1,25	0,00	1990,00
21:00	17,011	80,58	1,60	0,00	1890,33
22:00	19,303	80,78	0,97	0,00	1795,00
23:00	24,462	80,48	1,43	0,00	1802,33
00:00	22,143	80,40	1,17	0,00	1743,00
Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	17/10/2018	CO <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
01:00	18,002	80,30	1,17	0,00	1752,33
02:00	22,586	79,82	1,23	0,00	1786,33
03:00	22,747	80,22	1,17	0,00	1790,67
04:00	16,331	80,18	1,20	0,00	1800,33
05:00	18,206	80,15	1,55	0,00	1824,00
06:00	19,935	80,27	1,12	0,00	1726,33
07:00	11,210	80,85	1,20	0,00	1621,33
08:00	14,501	81,42	1,08	0,00	1483,67
09:00	16,034	81,35	1,10	0,00	1489,33
10:00	17,313	81,03	1,32	0,00	1362,67
11:00	18,707	80,67	1,32	0,00	1411,67

12:00	23,425	80,33	0,68	0,00	1432,33
13:00	28,543	79,53	0,55	0,00	1563,67
14:00	31,417	77,60	0,88	0,00	1863,33
15:00	36,001	77,25	0,97	0,00	2179,67
16:00	23,433	72,42	2,75	0,00	2404,67
17:00	25,066	69,62	4,55	-	2693,00
18:00	26,926	69,90	4,72	-	2778,67
19:00	32,021	70,06	4,80	-	2737,14
20:00	-	-	-	-	-
21:00	-	-	-	-	-
22:00	-	-	-	-	-
23:00	-	-	-	-	-
00:00	-	-	-	-	-
18/10/2018					
Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
01:00	-	-	-	-	-
02:00	-	-	-	-	-
03:00	-	-	-	-	-
04:00	-	-	-	-	-
05:00	28,826	73,300	7,550	1,100	3725,000
06:00	18,195	76,433	7,617	0,367	3637,000
07:00	18,604	77,283	7,783	0,133	3273,000







TABELA A8.2 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE EFLUENTE REFERENTE AO MÊS DE NOVEMBRO

Efluente																			
26/11/2018																			
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
1	08:00	Ensolarado	6,790	22,600	130,000	784,000	400,000	90,000	348,087	137,037	22,222	114,815	0,300	89,080	28,900	8,000	7,534	28,700	13,75
2	09:00	Ensolarado				188,000	130,000	90,000	351,400	119,231	26,923	92,308							
3	10:00	Ensolarado				122,000	146,000	90,000	353,408	110,345	17,241	93,103							
4	11:00	Ensolarado				192,000	206,000	86,000	361,741	89,286	32,143	57,143							
5	12:00	Ensolarado	6,850	23,400	210,000	230,000	150,000	90,000	389,753	133,333	29,630	103,704	0,600	46,840	32,600	9,200	8,171	14,480	14,45
6	13:00	Ensolarado				144,000	152,000	100,000	399,592	186,364	50,000	136,364							
7	14:00	Ensolarado				161,000	164,000	100,000	396,480	153,846	46,154	107,692							
8	15:00	Ensolarado				203,000	134,000	100,000	394,672	160,870	30,435	130,435							
9	16:00	Ensolarado	6,870	23,200	225,000	267,000	162,000	100,000	393,166	178,261	56,522	121,739	1,300	99,920	33,200	9,700	6,535	29,290	18,97
10	17:00	Ensolarado				239,000	282,000	90,000	382,323	112,500	18,750	93,750							
11	18:00	Ensolarado				165,000	142,000	92,000	385,938	170,833	25,000	145,833							
12	19:00	Ensolarado				168,000	138,000	86,000	403,206	196,154	34,615	161,538							
13	20:00	Nublado				165,000	166,000	96,000	401,680	178,261	43,478	134,783							
14	21:00	Nublado				295,000	176,000	90,000	386,000	178,261	43,478	134,783							
15	22:00	Nublado				196,000	152,000	92,000	376,000	190,909	45,455	145,455							
16	23:00	Nublado				160,000	170,000	90,000	367,200	208,333	16,667	191,667							
17	00:00	Nublado				162,000	144,000	86,000	356,900	190,909	31,818	159,091							
27/11/2018																			
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Nublado				177,000	138,000	84,000	354,700	223,810	42,857	180,952							
19	02:00	Nublado				179,000	148,000	90,000	352,800	154,545	31,818	122,727							
20	03:00	Nublado				205,000	154,000	86,000	349,000	136,364	31,818	104,545							
21	04:00	Nublado				166,000	120,000	86,000	344,600	134,783	26,087	108,696							
22	05:00	Nublado				150,000	130,000	86,000	341,000	125,806	25,806	100,000							
23	06:00	Ensolarado				142,000	134,000	86,000	346,700	135,484	25,806	109,677							
24	07:00	Ensolarado				150,000	118,000	80,000	349,300	139,130	30,435	108,696							
1	08:00	Ensolarado	6,960	22,800	230,000	143,000	104,000	60,000	342,700	100,000	27,273	72,727	0,500	69,120	25,900	8,000	9,102	11,120	7,50
2	09:00	Ensolarado				145,000	108,000	60,000	329,500	78,261	17,391	60,870							
3	10:00	Ensolarado				233,000	100,000	74,000	339,300	83,333	12,500	70,833							
4	11:00	Ensolarado				315,000	114,000	74,000	372,200	100,000	21,739	78,261							
5	12:00	Ensolarado	6,870	23,500	200,000	306,000	122,000	74,000	380,100	100,000	8,333	91,667	0,600	84,540	44,300	8,800	8,625	11,570	12,08
6	13:00	Ensolarado				175,000	130,000	84,000	393,500	86,957	8,696	78,261							
7	14:00	Ensolarado				504,000	112,000	90,000	393,700	239,130	65,217	173,913							
8	15:00	Ensolarado				444,000	118,000	90,000	396,000	217,391	56,522	160,870							
9	16:00	Ensolarado	6,830	23,400	175,000	408,000	194,000	88,000	386,500	128,571	28,571	100,000	1,000	106,340	32,300	9,800	8,400	15,120	8,37
10	17:00	Ensolarado				344,000	198,000	80,000	380,600	108,333	16,667	91,667							
11	18:00	Ensolarado				387,000	192,000	80,000	371,700	139,130	13,043	126,087							
12	19:00	Ensolarado				400,000	194,000	80,000	370,300	150,000	33,333	116,667							
13	20:00	Nublado				443,000	160,000	80,000	364,600	168,182	36,364	131,818							
14	21:00	Nublado				357,000	194,000	76,000	365,100	103,846	19,231	84,615							
15	22:00	Nublado				358,000	200,000	78,000	362,300	112,000	24,000	88,000							
16	23:00	Nublado				344,000	144,000	78,000	350,100	95,652	17,391	78,261							

17	00:00	Nublado	350,000	138,000	78,000	345,300	119,231	19,231	100,000	28/11/2018									
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Nublado				349,000	134,000	76,000	344,200	104,348	8,696	95,652							
19	02:00	Nublado				357,000	122,000	76,000	346,100	104,000	4,000	100,000							
20	03:00	Nublado				333,000	120,000	76,000	339,900	96,296	3,704	92,593							
21	04:00	Nublado				315,000	134,000	76,000	351,600	100,000	20,833	79,167							
22	05:00	Nublado				152,000	118,000	78,000	347,100	100,000	16,000	84,000							
23	06:00	Ensolarado				297,000	124,000	78,000	355,300	91,304	8,696	82,609							
24	07:00	Ensolarado				344,000	114,000	78,000	344,700	139,130	34,783	104,348							
1	08:00	Ensolarado	6,980	22,400	173,000	371,000	104,000	76,000	327,100	105,200	15,200	90,000	0,500	83,620	26,800	7,800	7,530	10,470	9,45
2	09:00	Ensolarado				356,000	190,000	76,000	336,300	130,000	20,000	110,000							
3	10:00	Ensolarado				367,000	124,000	78,000	334,500	143,333	20,000	123,333							
4	11:00	Ensolarado				487,000	118,000	78,000	339,000	50,000	8,000	42,000							
5	12:00	Ensolarado	7,040	22,900	211,000	397,000	134,000	82,000	359,000	155,000	20,000	135,000	0,300	98,080	28,200	8,700	4,117	10,560	8,63
6	13:00	Ensolarado				451,000	128,000	80,000	358,000	187,500	33,333	154,167							
7	14:00	Ensolarado				494,000	144,000	90,000	391,800	170,000	30,000	140,000							
8	15:00	Ensolarado				460,000	118,000	90,000	389,400	225,000	45,000	180,000							
9	16:00	Ensolarado	6,980	23,400	180,000	490,000	146,000	86,000	394,500	196,000	28,000	168,000	1,500	96,760	32,800	10,000	4,109	12,130	8,48
10	17:00	Ensolarado				450,000	194,000	88,000	386,300	205,000	30,000	175,000							
11	18:00	Ensolarado				539,000	134,000	88,000	378,000	204,762	28,571	176,190							
12	19:00	Ensolarado				449,000	140,000	88,000	350,900	132,000	8,000	124,000							
13	20:00	Nublado				538,000	128,000	88,000	371,200	255,000	40,000	215,000							
14	21:00	Nublado				476,000	132,000	88,000	366,500	195,238	23,810	171,429							
15	22:00	Nublado				532,000	118,000	80,000	356,000	205,000	10,000	195,000							
16	23:00	Nublado				489,000	136,000	80,000	357,700	233,333	33,333	200,000							
17	00:00	Nublado				463,000	166,000	80,000	346,000	228,000	25,000	203,000							
29/11/2018																			
Coletor	Hora	Condição Climática	pH	Temperatura (°C)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO Filtrada (mg/L)	Acidez (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Nitrogênio total (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Sulfeto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Metano dissolvido (mg/L)
18	01:00	Nublado				444,000	144,000	80,000	354,000	235,000	30,000	205,000							
19	02:00	Nublado				420,000	112,000	76,000	341,700	187,097	25,806	161,290							
20	03:00	Nublado				412,000	130,000	70,000	332,000	227,273	0,000	227,273							
21	04:00	Nublado				355,000	164,000	70,000	328,700	145,000	10,000	135,000							
22	05:00	Nublado				354,000	106,000	70,000	328,100	155,000	0,000	155,000							
23	06:00	Ensolarado				336,000	148,000	80,000	343,500	20,000	0,000	20,000							
24	07:00	Ensolarado				332,000	110,000	80,000	349,000	125,000	0,000	125,000							

TABELA A8.3 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE LODO REFERENTE AO MÊS DE NOVEMBRO

Lodo												
26/11/2018												
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)		
08:00	25280	2,720	0,730	1,990	0,300	0,600	0,900	0,450	0,600	0,600		
12:00	29040	3,690	0,980	2,710	0,450	0,900	1,050	0,600	0,900	0,750		
16:00	163520	10,540	3,200	7,340	1,800	1,800	0,900	1,800	0,600	1,800		
27/11/2018												
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)		
08:00	79360	5,370	1,560	3,810	0,300	0,600	0,900	0,450	0,600	0,600		
12:00	24320	21,170	6,220	14,950	0,300	0,600	0,900	1,800	0,300	0,600		
16:00	66240	5,610	1,490	4,120	1,800	1,800	0,900	1,800	0,600	1,800		
28/11/2018												
Hora	DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m	altura do manto R1 (m)	altura do manto R2 (m)	altura do manto R3(m)	altura do manto R4 (m)	altura do manto R5 (m)	altura do manto R6 (m)		
08:00	79360	7,480	2,010	5,470	1,200	0,600	0,900	0,900	0,300	0,300		
12:00	14080	2,050	0,510	1,540	0,900	0,750	0,750	0,390	1,050	1,200		
16:00	61600				0,300	0,600	0,900	1,800	0,300	0,600		

TABELA A8.4 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESCUMA REFERENTE AO MÊS DE NOVEMBRO

Escuma					
26/11/2018					
Hora		DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m
08:00		233280	20,420	6,230	14,190
12:00		243200	20,620	6,410	14,210
16:00		230400	19,380	5,580	13,800
27/11/2018					
Hora		DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m
08:00		241920	16,360	4,310	12,050
12:00		243840	17,130	6,250	10,880
16:00		253120	16,470	5,000	11,470
28/11/2018					
Hora		DQO (mg/L)	ST (%) m/m	STF (%) m/m	STV (%) m/m
08:00		267200	17,060	4,510	12,550
12:00		266560	17,130	6,250	10,880
16:00		285440	21,990	6,100	15,800

TABELA A8.5 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE VAZÃO E QUALIDADE DO BIOGÁS REFERENTE AO MÊS DE NOVEMBRO

Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
26/11/2018					
08:00	58,854	87,23	6,23	0,00	3885,00
09:00	53,677	86,80	6,40	0,00	3922,00
10:00	55,136	86,03	5,33	0,00	3793,00
11:00	78,969	85,00	5,12	0,00	3576,40
12:00	79,723	83,68	5,00	0,00	3375,00
13:00	88,924	82,83	4,83	0,00	3293,50
14:00	87,966	82,65	4,50	0,00	3342,00

15:00	69,411	82,38	4,45	0,00	3473,00
16:00	87,882	82,75	4,35	0,00	3640,00
17:00	81,207	83,10	4,68	0,00	3776,50
18:00	77,673	83,40	4,40	0,00	3926,00
19:00	85,644	83,78	4,50	0,00	3984,50
20:00	94,415	83,35	5,05	0,00	4010,00
21:00	87,462	83,85	4,63	0,00	4058,50
22:00	97,295	83,50	4,83	0,00	4056,00
23:00	105,598	83,68	4,93	0,00	3978,00
00:00	87,574	83,68	4,95	0,00	3921,50
27/11/2018					
Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
01:00	79,598	83,85	5,60	0,00	3895,00
02:00	74,649	84,25	5,13	0,00	3807,50
03:00	57,455	85,15	5,50	0,00	3825,00
04:00	53,522	85,50	5,40	0,00	3777,00
05:00	49,357	86,05	5,68	0,00	3770,50
06:00	53,394	86,60	6,05	0,00	3777,00
07:00	40,172	86,98	6,48	0,00	3671,50
08:00	39,445	86,88	6,20	0,00	3717,00
09:00	39,766	86,65	6,33	0,00	3619,50
10:00	70,073	86,20	6,48	0,00	3495,00
11:00	64,362	85,40	5,70	0,00	3401,50
12:00	78,449	84,10	5,25	0,00	3360,00
13:00	89,079	82,85	4,88	0,00	3337,00
14:00	86,471	82,68	5,03	0,00	3350,00
15:00	78,016	83,25	4,45	0,00	3517,00
16:00	79,315	83,50	4,18	0,00	3640,50
17:00	72,972	83,03	4,65	0,00	3750,00
18:00	82,127	83,90	4,23	0,00	3826,50
19:00	85,157	83,93	4,40	0,00	3965,50
20:00	85,227	83,75	4,48	0,00	3955,50
21:00	89,839	83,80	4,63	0,00	3984,50
22:00	80,300	83,05	5,15	0,00	3929,00
23:00	97,554	82,88	5,48	0,00	3855,00
00:00	69,498	84,15	5,73	0,00	3827,50
28/11/2018					
Hora	Vazão (Nm³/h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (ppm)
01:00	72,790	84,15	5,80	0,00	3761,00
02:00	59,010	85,33	6,05	0,00	3777,50
03:00	64,955	86,48	4,18	0,00	3942,00
04:00	44,127	86,00	5,16	0,00	3867,20
05:00	49,819	86,58	5,48	0,00	3880,00
06:00	40,602	87,18	6,23	0,00	3752,00
07:00	46,264	87,20	5,75	0,00	3840,00
08:00	37,959	87,18	5,80	0,00	3796,50
09:00	43,779	87,35	6,63	0,00	3740,50
10:00	59,554	86,63	5,35	0,00	3703,00
11:00	70,236	85,70	5,55	0,00	3506,00

12:00	91,793	84,50	5,73	0,00	3363,50
13:00	93,438	83,33	4,85	0,00	3325,50
14:00	91,393	83,18	4,43	0,00	3354,00
15:00	88,246	82,35	4,55	0,00	3498,50
16:00	84,193	83,20	4,18	0,00	3666,50
17:00	91,821	82,55	4,48	0,00	3751,00
18:00	77,420	82,83	4,68	0,00	3868,00
19:00	93,114	82,98	4,75	0,00	3917,00
20:00	91,49	83,28	5,00	0,00	3991,50
21:00	102,22	83,30	5,05	0,00	3968,50
22:00	96,93	84,90	3,30	0,00	4073,50
23:00	101,89	83,90	4,18	0,00	4046,00
00:00	97,05	83,50	5,00	0,00	3977,00
<b>Hora</b>	<b>Vazão (Nm³/h)</b>	<b>CH<sub>4</sub> (%)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>O<sub>2</sub> (%)</b>	<b>H<sub>2</sub>S (ppm)</b>
29/11/2018					
01:00	85,794	84,000	5,375	0,000	3917,000
02:00	66,420	84,400	5,550	0,000	3870,500
03:00	79,277	84,875	5,800	0,000	3881,000
04:00	55,256	85,640	5,780	0,000	3825,200
05:00	57,420	86,175	6,025	0,000	3813,000
06:00	55,280	87,150	6,300	0,000	3814,000
07:00	46,291	86,975	3,975	0,000	3941,500